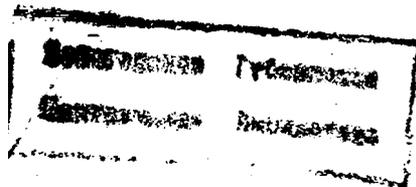


1934

„Коммунизм — есть советская власть
плюс электрификация всей страны“
ЛЕНИН



ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

16 APR 1934

№ 4

М А Р Т

ВЫПУСК I



МОСКВА
ЛЕНИНГРАД

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

О Н Т И**ЭНЕРГОИЗДАТ**ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА НА **1934** ГОДНА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ОРГАН ВСЕСОЮЗНОГО ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
Ф. ДЗЕРЖИНСКОГО**ИЗВЕСТИЯ ВТИ****10** номеров в годГод издания **10-й****Журнал** рассчитан на инженеров, работников теплосилового хозяйства, работников исследовательских институтов, лабораторий и учащихся вузов.**Дает статьи** по технико-экономическим вопросам и вопросам теоретической теплотехники.**Дает** научно-исследовательские работы лабораторий ВТИ и родственных организаций.**Имеет отдел** критики и библиографии (по союзной и иностранной литературе).**Открывает новый отдел** консультации и ответов на запросы читателей по вопросам, связанным с программой журнала и работами ВТИ.**Дает** хронику научной жизни ВТИ, родственных организаций и иностранной теплотехники.**ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:** на 1 год . . . 20 руб.

„ 6 мес. . . 10 руб.

В 1934 г. обращено особое внимание
на аккуратную рассылку журнала подписчикам.**Подписку на журнал и деньги направляйте по адресу:**

Москва, 19. Гоголевский бульвар, 27, Главной конторе периодических и подписных изданий ОНТИ „ТЕХПЕРИОДИКА“.

Подписку также принимают почтовые отделения, письмоносцы, магазины ОНТИ и КОГИЗ'а.

О Н Т И**Энергоиздат**

ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА на 1934 г. НА ЖУРНАЛ

„ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“**Год издания 55-й**

Орган Главэнергопрома и Главэнерго НКТП, Энергетического ин-та академии наук СССР и Всесоюзного энергетического комитета рабочей, научной и инженерно-технической общестственности (ВЭК-РНИТО)

20 номеров в год

Подписная цена:

на 12 мес. . . 25 р. —

на 6 мес. . . 12 р. 50 к.

на 3 мес. . . 6 р. 25 к.

Отдельн. номер 1 р. 25 к.

В группе энергетических журналов СССР „Электричество“ является основным руководящим научно-техническим органом, рассчитанным на квалифицированных работников электропромышленности и электрохозяйства.

Программа журнала: Современные научно-исследовательские, теоретические и практические проблемы электротехники и, в частности, вопросы электро-машино- и аппаратостроения и техники высоких напряжений. Наиболее важные технические и технико-экономические вопросы проектирования, строительства и эксплуатации электростанций и вопросы электрификации промышленности, транспорта и сельского хозяйства. Освещение работы электротехнических научно-исследовательских институтов и крупнейших лабораторий, Освещение работы важнейших энергетических съездов, конференций и ВЭНИТО. Основные вопросы подготовки кадров, рационализации и стандартизации в электропромышленности и электрохозяйстве. Критическая библиография о вновь выходящей электротехнической литературе. Обзоры электрификации СССР и капиталистических стран. Рефераты на статьи в иностранной электротехнической печати.**Подписку на журналы и деньги направляйте по адресу:** Москва, 19, Гоголевский бульвар, 27, Главной конторе периодических и подписных изданий ОНТИ „ТЕХПЕРИОДИКА“.**Подписка принимается** отделениями, магазинами и уполномоченными ОНТИ, снабженными соответствующими удостоверениями, общественными сборщиками подписки на предприятиях, всеми отделениями и магазинами КОГИЗ'а, всеми почтовыми отделениями и письмоносцами.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

4

1 9 3 4
М А Р Т

Орган ГЛАВЭНЕРГОПРОМА и ГЛАВЭНЕРГО НКТП, Энергетического института Академии наук СССР и Всесоюзного энергетического комитета рабочей, научной и инженерно-технической общественности (ВЭК-РНТО)

Адрес редакции: Москва, Неглинный пр., 6/2. Тел. 65-84

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.
Электроэнергетика СССР в исторических документах XVII с'езда ВКП (б)	1	Инж. Х. М. НОВИК—К расчету фабрично-заводских кабельных силовых сетей трехфазного тока напряжением до 500 В	30
Инж. М. М. СИТНИКОВ—Ионные управляемые приборы	3	Инж. А. С. КАСАТКИН—Электролитические счетчики переменного тока	36
БОРЬБА С АВАРИЯМИ			
Инж. Ф. В. МАЙОРОВ—Определение мест повреждений при авариях в кабельной сети	20	НОРМЫ И СТАНДАРТЫ	
ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ И СЕТИ			
Инж. Н. Е. ИОГАНСОН—Гололедоустойчивая подвеска усиливающих проводов контактной сети	28	Временные технические условия на устройства телесигнализации и телеуправления для энергетических систем	39
		БИБЛИОГРАФИЯ	43
		ИЗ КНИГ И ЖУРНАЛОВ	46

Электроэнергетика СССР в исторических документах XVII с'езда ВКП (б)

В монументально сжатой форме своих всемирно-исторических документов XVII с'езд ВКП(б) установил основные пути построения бесклассового социалистического общества и развития народного хозяйства во второй пятилетке.

„Завершение технической реконструкции всего народного хозяйства СССР на базе, созданной в период первой пятилетки и идущей по пути дальнейшего быстрого подъема промышленности, производящей средства производства (тяжелой промышленности)“,

—такова одна из центральных задач второй пятилетки, выдвинутых с'ездом. Тяжелая промышленность и в первую очередь советское машиностроение—это ленинское звено социалистической реконструкции, победоносно проводимой рабочим классом и партией под руководством великого Сталина, продолжает быть ведущим в плане второй пятилетки. Тов. Сталин, формулируя в отчетном докладе очередные задачи нашей промышленности, на первый план поставил задачу:

„1) Сохранить за машиностроением его нынешнюю ведущую роль в системе промышленности“.

Эту роль наше машиностроение выполняло в первой пятилетке и выполняет во второй, непрерывно реконструируя, перевооружая свою собственную основу. Программа дальнейшей реконструкции машиностроения, очерченная с'ездом, должна обеспечить

—„удовлетворение собственными силами всех потребностей народного хозяйства в современном технически передовом оборудовании при широком развитии новых видов производств“.

Только в сочетании с этой ведущей ролью советского машиностроения можно представить все значение такого важнейшего фактора в завершении технической реконструкции, каким является электроэнергетика. Оснащение электрическим приводом советской машиностроительной промышленности и всей социалистической промышленности вообще обусловило быстрые темпы в ее перевооружении на современной технической основе. С другой стороны, только успехам крупного машиностроения и, в частности, энергомашиностроения электрификация СССР обязана своим могучим расцветом и технико-экономической независимостью от капиталистических стран.

Создание

—„новой энергетической базы для завершения реконструкции всех отраслей народного хозяйства“

выдвинуто в решениях XVII с'езда партии именно в неразрывной связи и тут же вслед за задачами машиностроения. С'езд решил:

—„... образовать во всех энергетических узлах зервы мощностей, обеспечивающие бесперебойное электроснабжение народного хозяйства. За основу электрификацию промышленности следует положить на широчайшем использовании новейших эл

методов производства во всех отраслях промышленности, особенно в металлургии и химии (рост потребления энергии электроемкими производствами более чем в 9 раз), широким развитием электрификации транспорта и постепенным внедрением электроэнергии в производственные процессы сельского хозяйства. Шире развернуть теплофикацию промышленности и крупных городов. Продолжать линию на более широкое использование для электроснабжения местных видов топлива и особенно гидроэнергетических ресурсов. Завершить во второй пятилетке кольцевание районных станций с созданием уже во втором пятилетии крупнейшей в мире системы электроснабжения (Донбасс-Приднепровье с выработкой 9 млрд. квтч в год)“.

Такова данная съездом генеральная формулировка технической политики в области электрификации СССР, формулировка, при всей своей краткости конденсирующая в себе по богатству содержания весь мировой опыт и передовые технические достижения, а также итоги развития советской электроэнергетики за предыдущие годы. Понятно, что в таком широком комплексе задач и в таком масштабе их разрешения может быть изложена программа электрификации лишь в нашей социалистической стране, уверенно идущей по пути второй пятилетки.

Грандиозный план важнейших электроэнергетических строек изложен в решении съезда так:

„В области электрификации — строительство 79 районных станций, в числе которых завершение строительства Зуевской станции в 250 тыс. квтч, Горьковской в 204 тыс. квтч, Шатуры в 180 тыс. квтч, Дубровки в 100 тыс. квтч, гидростанции Свири № 3 в 96 тыс. квтч, окончание Днепрогэса на мощность 558 тыс. квтч; сооружение ряда новых крупных централей — Бобриковской в 400 тыс. квтч, Кермеровской в 148 тыс. квтч, новых мощных станций в Донбассе, гидростанций Чирчикской № 1 в 170 тыс. квтч, Канакирской в 88 тыс. квтч, на р. Храмы в 60 тыс. квтч, Свири № 2 в 144 тыс. квтч, Туломы и др. и развертывание строительства станций Средневожгостроя — Ярославской в 100 тыс. квтч, Пермской в 310 тыс. квтч и Горьковской в 200 тыс. квтч“.

Этот список работ по сооружению электростанций, блестяще характеризующий творческий размах плана всей второй пятилетки, завершается перечислением наиболее важных теплоэнергетических узлов, дающих представление о масштабе работ по теплофикации:

„Сооружение ряда крупных теплоцентралей для теплофикации городов — Московско-Нарвской и Охтенской в Ленинграде, Сталинской и Фрунзенской в Москве, Сормово-Канавинской, Краснозаводской в Харькове и др., ряда крупнейших фабрично-заводских станций районного значения: Магнитогорская 198 тыс. квтч, Кузнецкая 108 тыс. квтч и др.“.

Таким образом дальнейший рост электрификации тесно увязан и сопровождается развитием теплофикации, что особенно характерно для советской электроэнергетики, реализующей передовые тенденции в области техники.

В своей речи на XVII съезде т. Орджоникидзе подчеркнул значение, которое партия придает этому звену электроэнергетики:

„В 1931 г. т. Сталин обратил большое внимание на развитие теплофикации, давшего возможность сосредоточить

каких это пор мы будем таким образом отапливать наши и промышленные и жилые помещения, когда надо таскать огромное количество дров, угля и всего прочего, почему не пойти по линии теплофикации? Что сделано в этой области? До июньского пленума 1931 г., где этот вопрос решался, у нас было 200 тыс. квтч теплофикационной мощности. С июля 1931 г. до 1934 г. вступило в эксплуатацию свыше 400 тыс. квтч новой мощности, преимущественно на крупных промышленных станциях. В ближайшие 1—2 года войдет в эксплуатацию еще около 400 тыс. квтч теплофикационной мощности“.

Простая количественная характеристика наших достижений и наших задач в области электроэнергетики недостаточна при сравнении с соответствующими данными из практики капиталистических стран.

Это сравнение с зарубежными странами, как отметил в своей запоминающейся и выразительной речи на съезде т. Кржижановский, мы должны делать с большой осторожностью:

„Сопоставляю наши электростанции с зарубежными. Вы здесь получили книгу Академии наук „Электроэнергетика СССР“, где вы можете, между прочим, видеть, что каждый киловатт наших станций по своей эффективности более мощен, чем 2 киловатта, установленные за рубежом при капиталистических условиях“.

„Каждая станция нашей страны по своему действию при равной мощности равна 2 зарубежным станциям. Поэтому, если сравнивать количество наших станций с количеством электростанций, имеющих за границей, я должен число наших станций помножить на 2, — вот когда выйдет правильное сопоставление“.

Для представления о качественной стороне наших достижений и задач в области электроэнергетики следует иметь в виду такой важный показатель, как концентрация мощности установок и концентрация выработки электроэнергии на районных станциях. При программе выработки электроэнергии, принятой съездом на 1937 г. в размере 38 млрд. квтч, свыше 65% — 25 млрд. квтч — будет вырабатываться на районных станциях Главэнерго.

С особой силой в решении XVII съезда партии подчеркнута задача технической реконструкции транспорта.

И на этом ответственнейшем участке плана второй пятилетки съездом четко определены роль и масштабы электрификации. Сюда относятся, как отметил в своем докладе на съезде т. Куйбышев, постройку Каширского электровозного завода на 300 магистральных электровозов, электрификации 5000 км железнодорожных линий, перевод на электрическую тягу направлений Кривой Рог — Донбасс, Ленинград — Москва — Харьков — Ростов — Прохладная (на наиболее загруженных участках), Лихая — Сталинград, Мурманской дороги, 748 км ж.-д. путей Урала, целого ряда участков железных дорог Закавказья и т. д., что резко повысит пропускную способность всех этих дорог.

В том же докладе т. Куйбышев ярко оттенено значение электрификации в развитии отдельных районов СССР, запроектированном и принятом съездом на вторую пятилетку:

„Дальнейшее движение промышленности на Волжском, приближение к сырью, создание новых опорных баз индустриализации, — заявил т. Куйбышев, — означает вместе с тем и создание необходимых предпосылок к изживанию экономической отсталости“.

ярко сдвиги в размещении производительных сил характеризуются сдвигами в размещении основной энергетической базы народного хозяйства—электростанций“.

Чрезвычайно показательна в этом отношении таблица, приведенная т. Куйбышевым:

Сдвиги в размещении установленной мощности электростанций

Р а й о н	Удельный вес установленной мощности в % к итогу	
	1932 г.	1937 г.
СССР	100,0	100,0
Старые промышленные районы (Ленинградская, Московская, Ивановская области и Горьковский край)	34,97	30,43
Поволжье (Гатария, Средняя Волга, Нижняя Волга)	5,07	5,66
УССР	30,26	22,55
Районы УКК (Урал, Башкирия, Западная Сибирь, Казакстан)	12,57	18,25
Восточная Сибирь и ДВК	0,87	2,21
Закавказье	4,62	6,33
Средняя Азия	0,79	3,47

Проследите „электроэнергетическую нить“ в районном разделе доклада т. Куйбышева и перед вами встанет картина широкого охвата электрификацией всей советской страны. Так, например:

„Второе пятилетие решает одну из наиболее острых проблем—проблему электроснабжения Урала. В 1932 г. при потребности по среднему Уралу в 63 тыс. квт установленная мощность электростанций составляла 50 тыс. квт. Южный Урал и северо-западная часть Урала не имели сколько-нибудь надежных резервов мощностей. Вторая пятилетка увеличивает установленную мощность электростанций с 441 тыс. квт до 1261 тыс. квт или почти в три раза, а по районным стан-

циям в 3,5 раза, тем самым полностью разрешая проблему электроснабжения, с образованием резерва мощностей около 150 тыс. квт“.

Или по Ивановской области:

„Должны быть увеличены мощности районных электростанций: Ивгрэс—с 75 тыс. квт в 1932 г. до 124 тыс. квт в 1937 г., Ярославской тэц—до 72 тыс. квт, общая мощность всех электростанций—до 355 тыс. квт. Особого внимания требует начинаемое во втором пятилетии строительство мощной Ярославской гидроэлектростанции на Волге в 100 тыс. квт, входящей в эксплуатацию в 1938 г.“.

Широкое электростроительство будет развиваться в Горьковском крае, Закавказье, Средней Азии, Поволжье, Западной и Восточной Сибири и в других краях, областях и национальных республиках СССР.

Об огромном росте электрификации в новых районах во второй пятилетке и развитии высоковольтных электросистем говорил также т. Молотов в своем докладе:

„Соединение высоковольтными электрическими проводами Москвы, Иванова, Горькова, кроме того, на Востоке—северного и южного Урала со средним Уралом и на Украине—Донбасса с Днепрокомбинатом означает подготовку к созданию единой высоковольтной сети, объединяющей основные промышленные районы СССР.“

Основные промышленные районы в полной мере обеспечиваются электроэнергией. Быстро растет электростроительство и в новых районах“.

Начиная с великого плана Гозлро, этой „второй программы партии“, продолжая первой пятилеткой большевистских побед и входя неотъемлемой частью во вторую пятилетку, ленинская электрификация в руках партии и рабочего класса Союза, гениально руководимых т. Сталиным, является боевым знаменем социалистического строительства.

26/II 1934 г.

Ионные управляемые приборы

Инж. М. М. Ситников

Ленинград

В развитии электротехники в настоящее время большую роль играют вопросы преобразования энергии одного вида в другой. Как известно, исключительное значение для всей народнохозяйственной жизни Союза имеет задача создания единой высоковольтной сети Союза, которая была бы особенно эффективной, если бы удалось осуществить передачу энергии постоянным током сверхвысокого напряжения. Центральной проблемой в деле передачи энергии постоянным током, повидимому, является использование ионных процессов для создания статических ионных преобразовательных устройств переменного тока в постоянный и обратно.

Обратимся к рассмотрению ионных процессов в применении их для управляемого электрического разряда в газе.

Прохождение электрического тока через газовую среду обязано существованию сравнительно очень небольшого количества свободных электронов и положительных и отрицательных ионов среди большого количества нейтральных газовых частиц. Даже при самых больших токах через газовую среду при соблю-

количество молекул ионизировано одновременно, и продукты ионизации принимают участие в переносе тока. При этом такой газовый разряд оказывается вполне управляемым, т. е. он вполне зависит от постороннего независимого возбудителя и может возникнуть и прекращаться по нашему желанию.

Рассмотрим те специальные условия, каким должна подчиняться газовая среда, чтобы быть в состоянии обеспечить управляемый разряд, так как известно, что, вообще говоря, физический процесс газового разряда (например, вольтовой дуги) имеет стихийный характер и трудно или почти совершенно не поддается управлению.

Действительно, при более глубоком анализе газового разряда сама физическая картина разряда имеет очень различный характер в зависимости от количественных соотношений элементов газового разряда. Такими элементами прежде всего являются следующие основные величины: давление газовой среды, род газа и его температура, длина свободного пути движущихся частиц (молекул, электронов, ионов), величина

пространственное расположение и временное соотношение, геометрическое расположение, форма электродов и междуэлектродного пространства, их абсолютный размер и величины электрических и тепловых скоростей движущихся ионов и электронов. Кроме того, на газовый разряд оказывает существенное влияние внешняя цепь, в которую включен газовый промежуток, а именно прохождение тока через газовую среду зависит от электрических и магнитных параметров этой цепи и от той электрической энергии, какую несет данная электрическая цепь.

Рассмотрим физическую и электрическую картины прохождения тока в управляемых ионных приборах, а также кратко те основные задачи, где должен найти свое применение управляемый газовый разряд, и укажем те основные формы газового разряда, которые в настоящее время дают то или иное техническое или только физическое решение.

Области применения управляемого разряда

Едва ли не самой трудной как по замыслу, так и по выполнению и наиболее обещающей по тому исключительному значению для всей народнохозяйственной жизни страны является задача передачи энергии на большие расстояния помощью постоянного тока сверхвысокого напряжения. Задача новая и вместе с тем уже хорошо известная, так как над ее разрешением энергично работает исследовательская мысль.

Исходя из существующих к. п. д. тех приборов, которые могут при их удачной разработке решить поставленную выше задачу, и из знания физических процессов, происходящих в этих приборах, можно сложную общую задачу разбить на отдельные основные элементы, которые в наших условиях электрификации и тех масштабах, какие намечены планом электрификации, выльются в следующие конкретные формы. Достаточно будет, если удастся получить одитаккой элемент на напряжение до 40 kV при токе до 2000 А, т. е. управляемый электрический прибор, получивший название „ионный преобразователь“ мощностью порядка 80 MW в одной единице. Имея в виду эти конкретные цифры, и следует подходить к изучению ионного управляемого разряда.

Второй, не менее важной задачей является задача электрификации железнодорожного транспорта, для чего требуются преобразовательные устройства для питающих подстанций мощностью, доходящей до 20 ÷ 40 MW, и устройств для повышения их на электровазе при напряжении в контактом проводе от 3 до 20 kV или даже 40 kV и при мощности электроваза до 2000 ÷ 3500 kW. Требования к преобразователю осложняются еще необходимостью его исключительной надежности, что сопряжено с трудностью эксплуатационных условий при помещении преобразователя на движущемся электровазе.

Далее стоит задача электрификации сельского и лесного хозяйства, где требуются подвижные легкие выпрямительные установки напряжением 500 ÷ 600 V при мощности от 100 до 400 kW.

Задача питания радиостанции постоянным током порядка 10 kV при мощности 500 ÷ 1000 kW также может найти свое разрешение при успешной разработке ионных преобразователей¹⁾.

Металлургия предъявляет свои требования в виде создания новых, особых мощных машин постоянного тока, в которых коммутация помощью коллектора была бы заменена коммутацией при помощи ионных трубок.

И наконец, всевозможные реле от небольших мощностей до грандиозных выключающих устройств, которые обещают заменить собой мощные масляные выключатели, могут найти свое техническое воплощение при соответствующей разработке ионного процесса в определенном направлении.

Основной предпосылкой к разрешению поставленных выше задач является требование, чтобы преобразовательное устройство имело хороший к. п. д. и было статическим устройством, имеющим в качестве исключения подвижные элементы только в виде движущихся ионов и электронов газового пространства и обладало большой устойчивостью. Такими ионными устройствами могут быть четыре основных вида приборов, из которых первый—управляемого класса и три полууправляемого класса.

Ионный управляемый прибор

Преобразователь М. М. Ситникова с холодными электродами и магнитным контролем. Оба электрода преобразователя холодные. Давление газа такое, что средняя длина свободного пути одного порядка с расстоянием между электродами. Управление проводимостью осуществляется помощью магнитного поля. Этот тип приборов обладает полной управляемостью, так как магнитное поле не только вызывает проводимость, но и прекращает проводимость при полном токе через преобразователь и полном напряжении, приложенном к электродам преобразователя.

Сущность рассмотрения физического процесса, происходящего в такого рода преобразователях, заключается в том, что проводимость газа, обусловленная наличием электронов и ионов, зависит от соотношения между средней длиной свободного пути l электрона в газе и расстоянием b между электродами вдоль по силовой линии, а также от соотношений между электрическими и тепловыми скоростями электронов и ионов. В рассмотрении вводится также определение длины траектории электронов под влиянием электрического и магнитного полей управления газовой проводимостью.

Считая основную точку зрения автора известной по его монографии¹⁾, укажем положения, легшие в основу разработки преобразователей, и опытные зависимости, объясняющие сущность физического процесса в таких приборах.

На рис. 1 представлено изменение тока в газовой среде в зависимости от расстояния между электродами. Если начать увеличивать расстояние между электродами, не изменяя ни давления, ни приложенного к электродам напряжения, то при увеличении расстояния до некоторой величины внезапно возникает ток; при дальнейшем увеличении расстояния проводимость газовой среды увеличивается сравнительно незначительно. При обратном ходе кривой, т. е. при уменьшении расстояния между электродами, произойдет также внезапное прекращение тока, правда, при несколько меньшем расстоянии между электродами. Это запаздывание в прекращении тока получило название „затягивания тока“.

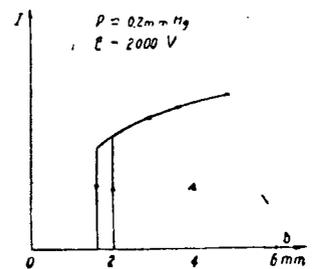


Рис. 1

¹⁾ Генерирование высокой частоты для целей радиотехники длинных и коротких волн открывает широкие возможности, так как

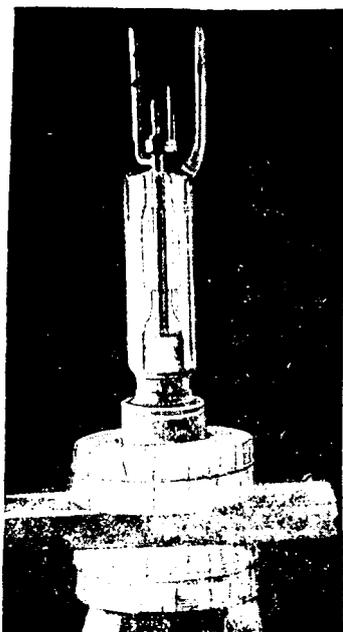


Рис. 2

Предполагается, что как только расстояние между электродами делается больше средней длины свободного пути, произойдет ионизация газа, следствием чего явится очень быстрое нарастание тока.

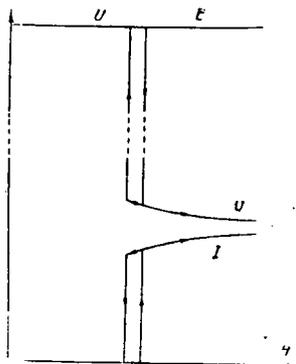


Рис. 3

Вообще говоря, явление проводимости газа возникает тогда, когда расстояние b между электродами будет больше средней длины l свободного пути электрона. На этом вопросе подробнее останавливаться не будем, укажем лишь на то, что существует некоторое критическое расстояние между электродами, или критическая длина пути электронов, при котором возникает проводимость газового промежутка (при данном давлении).

Необходимо, чтобы возможная длина траектории электрона была больше средней длины свободного пути. Применение магнитного поля для изменения длины траектории электрона дает условия возникновения и прекращения тока через газовую среду. Управление проводимостью помощью магнитного поля получило название магнитного контроля. Основным вопросом в явлении проводимости является длина траектории движущихся частиц.

В первом приближении это и подтверждалось многочисленными опытами. При этом в таких опытах едва ли не самым интересным являлась возможность прекращения тока (постоянного или переменного) путем уменьшения расстояния между электродами. Можно прекратить возникший ток, сдвигая или сближая между собой электроды. Эта физическая картина может быть применена и при рассмотрении процессов выключения тока в выключающих ток устройствах.

Управление газовой проводимостью в приборах, в которых длина свободного пути электрона больше расстояния между электродами, осуществляется путем изменения траектории движущихся электронов помощью магнитного поля. Кроме магнитного поля возможен также „тепловой“ и „объемный“ контроль, на рассмотрении которых останавливаться не будем.

Помещая соответствующим образом газовый промежуток между электродами в магнитное поле независимого источника питания, тем самым создаются условия, при которых длина траектории движущихся электронов изменяется, и газовая среда в зависимости от величины магнитного поля может быть то проводящей, то нет.

Необходим точный расчет и определение длины траектории движущихся электронов и ионов в магнитном поле. Преобразователь с магнитным контролем

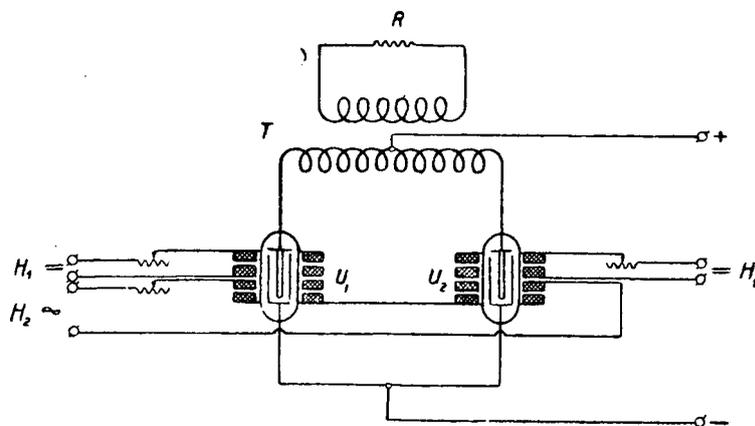
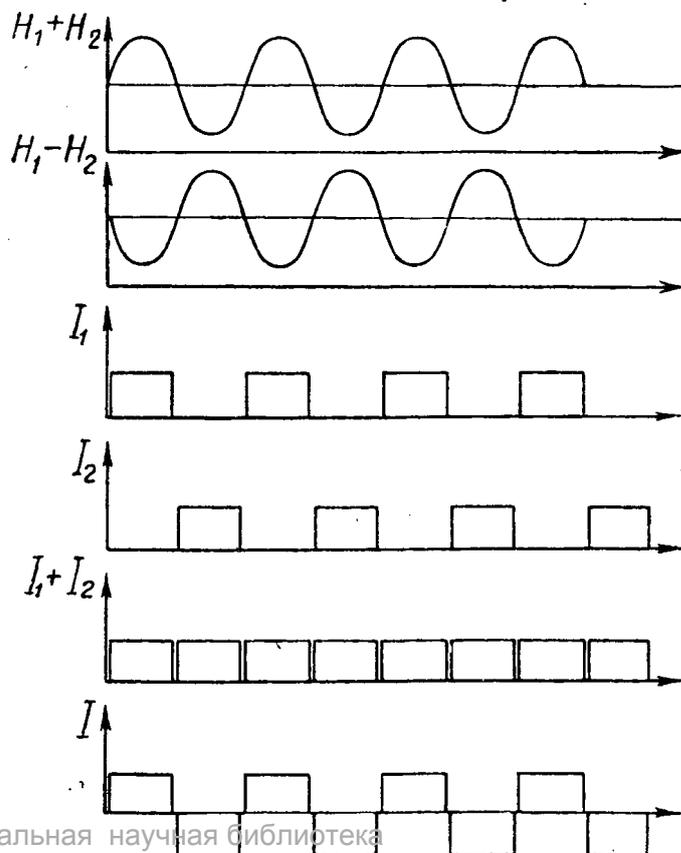


Рис. 4

представлена на рис. 3, где изображена зависимость тока от величины магнитного поля. Такой прибор вполне управляем, так как при определенном уменьшении магнитного поля происходит прекращение тока через прибор. Явление „затягивания“ при этом имеет сравнительно небольшую величину.

На рис. 4 представлена схема для преобразования постоянного тока в переменный. Постоянный ток проходит то через одну половину обмотки трансформатора, то через другую. Для этого магнитное поле управления проводимостью трубок включено следующим образом (рис. 5): за одну половину периода постоянное магнитное поле H_1 и переменное H_2 имеют одно направление для одной трубки U_1 и противоположное для другой трубки U_2 . В результате за эту половину периода одна трубка проводит ток, а другая не проводит, так как для нее магнитное поле недостаточно. За другую половину периода переменное магнитное поле H_2 уже имеет одинаковое направление



с постоянным магнитным полем для второй трубки U_2 , и в результате проводит ток вторая трубка³⁾.

Основные затруднения в разработке ионных преобразователей с магнитным контролем. Давление в преобразователе должно быть определенной величины и не должно выходить за известные пределы. При увеличении давления больше определенной величины прибор проводит ток при отсутствии магнитного поля и теряет управляемость. При изменении давления в сторону уменьшения при переходе через известную границу прибор вообще перестает проводить ток и размыкает электрическую цепь. Для поддержания давления служат специальные реле давления.

Принимаются меры к уменьшению распыления электродов, так как распыление, кроме действия на электроды, сопровождается обычно и изменением давления. При отклонении давления в преобразователе от определенной величины легко возникают перенапряжения, имеющие иногда очень большую величину.

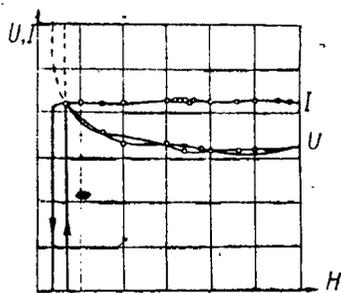


Рис. 6

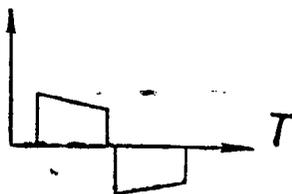


Рис. 7

Источником перенапряжений являются, с одной стороны, запасенная энергия электрической цепи, в которую включен преобразователь (самоиндукция и емкость), а с другой стороны, газовая среда, где объемные заряды могут иметь чрезвычайно большие величины из-за большого значения внутренней „динамической“ емкости преобразователя. Так, например, опыты давали увеличение напряжения до 20- и 30-кратной величины напряжения питания. Абсолютное значение перенапряжения доходило до величины свыше 100 кВ при напряжении на трубке 6 кВ. Это, вообще говоря, для нормальной работы преобразователя нежелательное явление может быть использовано для специальных целей, например, для импульсного ударного генератора на большие напряжения⁴⁾.

На рис. 6 представлена характеристика тока I и падения напряжения U между электродами трубки. При уменьшении магнитного поля падение напряжения увеличивается приблизительно на $20 \div 25\%$.

При переходе тока с одной трубки на другую при преобразовании постоянного тока в переменный увеличение падения напряжения на той трубке, которая перестает работать, является желательным, так как улучшает вопрос коммутации. Кроме того, увеличение падения напряжения уменьшает величину перенапряжений, которые сравнительно часто возникают, особенно в том случае, если давление в преобразователе вышло за допустимые пределы.

Большие трудности представляет получение хорошей формы кривой преобразуемого тока при получении переменного тока из постоянного. Нормально

³⁾ При более детальном рассмотрении процесса коммутации оказывается целесообразным иметь значение амплитуды переменного магнитного поля H_2 больше, чем значение постоянного магнитного поля H_1 :

$$H_2 > H_1; H_0 = a H_1,$$

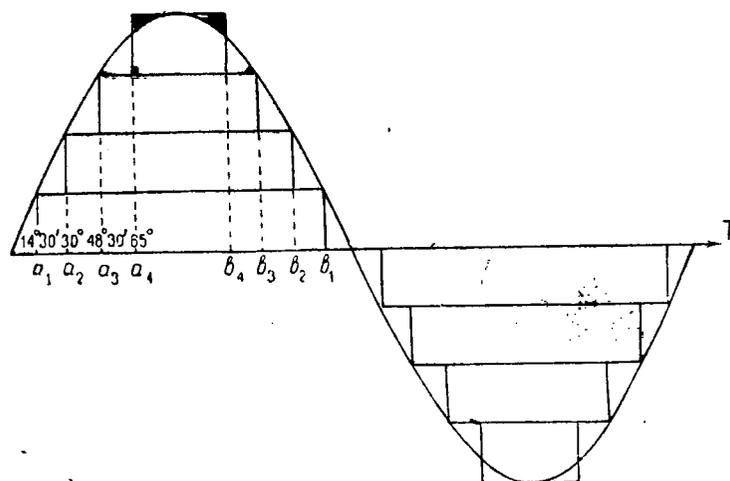


Рис. 8

трансформатор дает форму кривой тока, близкую к трапеции, схематически изображенную на рис. 7. Необходим одновременный расчет и трансформатора и ионного преобразователя с целью получения правильной (синусоидальной) формы кривой преобразуемого тока.

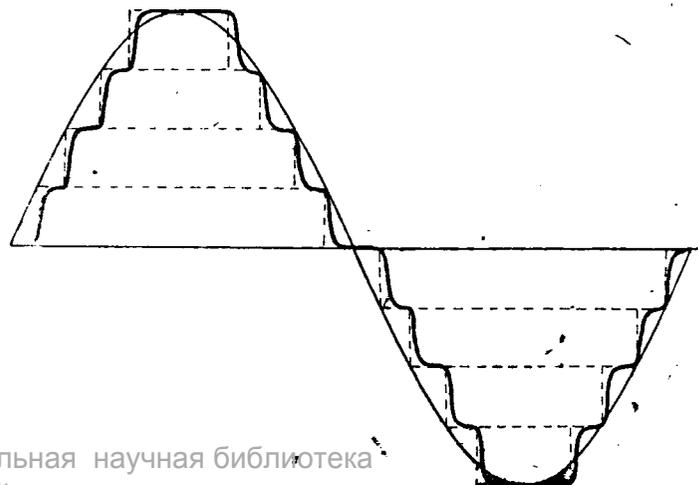
Форма кривой преобразуемого тока. Некоторое улучшение формы кривой преобразуемого тока может быть достигнуто путем придания определенной формы электродам трубки, давая им вместо цилиндрической формы сложные формы тел вращения.

Для решения обратного преобразования и получения чистой формы кривой тока намечается следующая идея получения синусоидальной формы кривой тока или напряжения⁵⁾. На рис. 8 даны синусоида и ее примерное разложение на несколько, в данном случае четыре, прямоугольной формы кривых тока. Каждый из четырех прямоугольников тока может быть получен при работе ионной трубки в соответствующих вполне точно определенных условиях.

Несимметрия из-за явления запаздывания или затягивания тока, о чем было указано выше, будет иметь незначительную величину, давая несколько более позднее прекращение тока и этим вызывая некоторое искажение синусоиды.

Если обмотку трансформатора со стороны ионного преобразователя разбить на несколько одинако-

⁵⁾ M. Sitnikov, Sur l'emploi des convertisseurs ioniques pour le transport de l'énergie électrique par courant continu. Доклад на Международном конгрессе высоковольтных передач 18—24 июня 1933 г., Париж.



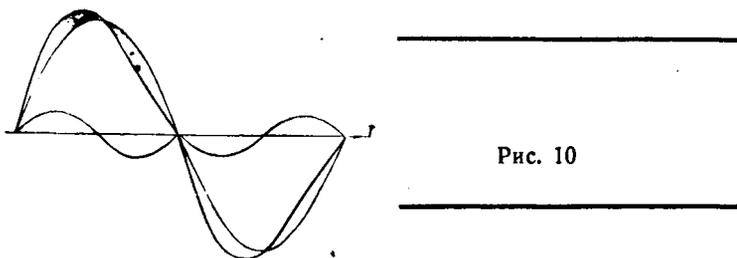


Рис. 10

вых или имеющих незначительное различие параллельных ветвей и в каждую ветвь включить отдельный ионный преобразователь, работающий в строго определенных условиях, то мы получим в результате магнитный поток трансформатора, изменяющийся согласно рис. 8. Действительное изменение потока будет иметь более плавный характер (рис. 9), и во вторичной обмотке трансформатора будет индуцироваться достаточно правильная форма кривой напряжения, приближающаяся к синусоиде, так как имеет место сглаживающее действие самоиндукции элементов, входящих в цепь трубки и обмотки трансформатора. Для этого за вторую половину периода в обмотку трансформатора симметрично включается такое же количество ионных трубок, но в обратном направлении.

В этой основной схеме возможен целый ряд различных усовершенствований, касающихся формы электродов трубки, добавочных самоиндукций и емкостей, а также в соответствующем искажении формы кривой тока в электромагнитах, создающих магнитное поле управления, для того, чтобы ослабить действие затягивания тока (рис. 9). В кривую магнитного поля для этой цели надо ввести вторую гармонику за одну половину периода (рис. 10).

На рис. 11 дана принципиальная схема включения нескольких трубок в многообмоточный однофазный трансформатор.

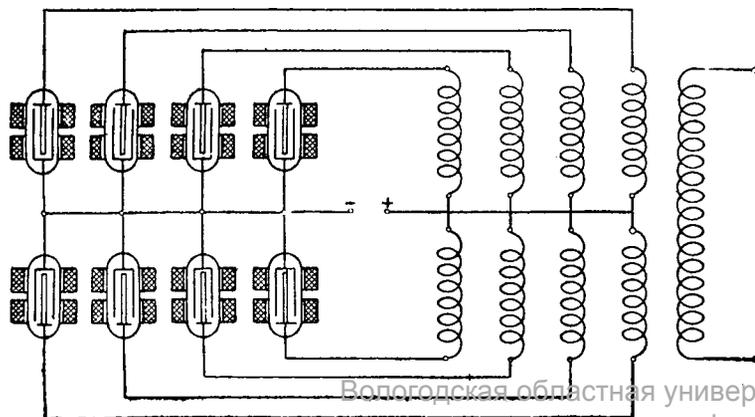
Для того чтобы обеспечить включение и выключение трубок в строго определенные моменты (рис. 8) a_1, a_2, a_3, a_4 и b_1, b_2, b_3, b_4 трубки должны иметь строго определенные данные.

Указанное включение можно получить либо при разных диаметрах трубок и одинаковом магнитном поле для всех трубок, либо (при одинаковых трубках) при различных постоянных и переменных составляющих магнитных полей, служащих для возбуждения трубок. Так, например, расчет дает следующее соотношение диаметров для четырех трубок:

$$\frac{D_1}{d_1} = 3,5; \quad \frac{D_2}{d_2} = 2,8; \quad \frac{D_3}{d_3} = 2,44; \quad \frac{D_4}{d_4} = 2,2$$

при постоянной составляющей магнитного поля, равной 50% от амплитуды переменного магнитного поля.

В случае ионного преобразователя типа IPS-20-56 соблюдение указанного выше условия дает соответ-



ственно следующие размеры внутренних электродов трубки: $d_1 = 16, d_2 = 20, d_3 = 22,9, d_4 = 25,44$ мм при $D_1 = D_2 = D_3 = D_4 = 56$ мм. Указанные выше соотношения легко получить, исходя из основных расчетных данных, указанных в монографии автора⁶⁾. Конструктивно возможно построить трубку с одним общим электродом (катодом) и рядом отдельных анодов, присоединяемых к отдельным обмоткам трансформатора.

Следует указать и на другую модификацию расчета, когда можно иметь обмотки трансформатора с различным числом витков, для чего необходимо также вполне точно рассчитать размер электродов преобразователя и величину магнитных полей.

В вопросе преобразования постоянного тока переменным едва ли не основным затруднением в настоящее время является вопрос получения хорошей формы кривой напряжения и тока.

Испытание ионных преобразователей. В настоящее время испытания с ионными преобразователями производятся все на большую и большую мощность и напряжение.

Основные данные испытания данного преобразователя с магнитным контролем следующие.

На рис. 12 дана фотография трубки типа IPS 20-56, испытанной на напряжение до 10 kV при токе 10 ÷ 11 A и при напряжении около 1 kV при токе до 100 ÷ 150 A. В отдельных кратковременных испытаниях максимальное мгновенное (амплитудное) значение тока доходило до 400 A, при этом сохранялась полная управляемость током через преобразователь помощью магнитного поля. Магнитное поле управления имеет величину порядка 50 ÷ 150 гауссов и зависит от того режима, в котором работает преобразователь.

На рис. 13 даны характеристики тока через преобразователь при изменении магнитного поля. При напряжении постоянного тока 4 kV ток возникает при 50 гауссах и прекращается при 43,8 гаусса, разница составляет около 12,5%. При увеличении магнитного поля за критическое его значение (в данном опыте 880 гауссов) газовая проводимость несколько увеличивается, и ток увеличивается на сравнительно небольшую величину. Если взять отношение разницы в магнитных полях, при которых ток возникает и прекращается, к магнитному полю, при котором ток сохраняет приблизительно постоянное значение, мы получим, что в процентном отношении явление затягивания имеет небольшую величину, в данном примере составляющую около 0,7%. При дальнейшем увеличении магнитного поля ток через преобразователь прекращается. Таким образом существуют два режима работы преобразователя, которые мы назовем „нормальным“ (вблизи критического поля) и „перенапряженным“, когда магнитное поле имеет настолько большое значение, что в состоянии прекратить ток.

Трубка IPS-20-56 испытывалась на напряжение до 70 kV и при этом до 30 kV давала вполне определенное выпрямление небольшого тока порядка нескольких десятков миллиампер.

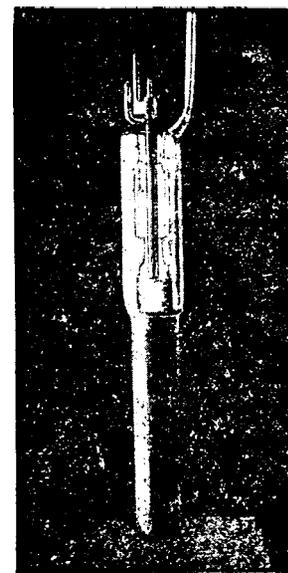


Рис. 12

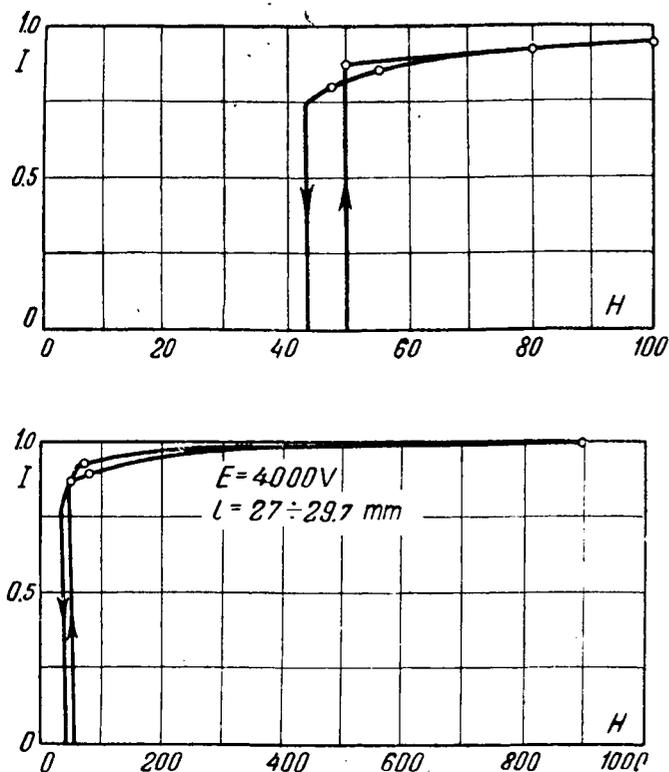


Рис. 13

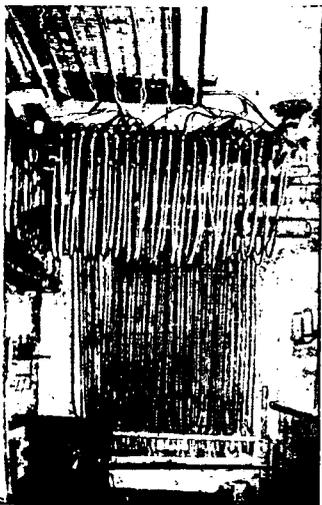
В последнее время получено преобразование постоянного тока в переменный (по схеме рис. 4) помощью двух трубок при мощности больше 70 kW. Выяснилось, что большое значение имеет схема включения обмоток трансформатора для уменьшения потоков рассеяния из-за своеобразной работы трубок. При этом в случае броневого типа трансформатора удалось получить почти всю мощность, которую может дать трансформатор при нормальной его работе на переменном токе.

Как указывалось выше, форма кривой полученного переменного тока приближается к трапеции, и требуется большая исследовательская работа для анализа причин такой формы кривой тока (процесс в трансформаторе и в трубке) и способов получения кривой, приближающейся к синусоиде.

Полученным переменным током питалась одна фаза нормального трехфазного асинхронного двигателя мощностью 11 kW. Двигатель предварительно раскручивался до скорости, близкой к синхронной, и затем давал соответствующий момент и мощность.

Испытания трубки типа IPS-20-56 ни по напряжению, ни по току не доведены до предельных из-за отсутствия соответствующих испытательных мощностей и нагрузочных реостатов.

На рис. 14 показан реостат на 200 kW при напряжении до 10 kV, которым располагает лаборатория при испытании трубок. Спирали реостата охлаждаются водой, возможна регулировка нагрузки. На рис. 15 дан общий вид установки трубок и на рис. 16 показано несколько трубок, включенных практически достаточно точно центрирования электродов при сборке и достаточно плотного вакуумного



фия трубки с лучшей конструкцией катушек магнитного поля, обеспечивающей более однородное и равномерное магнитное поле по длине трубки.

В настоящее время для испытания ионных преобразователей на большие мощности в лаборатории устанавливаются трансформаторы и машины мощностью до 2000 kW. На рис. 18 дан общий вид испытательной подстанции на 2000 kW в процессе монтажа. На рис. 19 дан чертеж основных размеров и габаритов преобразователя IPS-20-56. Вес трубки 2,3 kg. Оба электрода охлаждаются водой.

Вопрос о передаче энергии постоянным током может быть разрешен, если будут соответствующие преобразовательные устройства. Для тех больших задач, которые стоят в плане работ по электрификации СССР, как, например, Урало-Кузбасская проблема, потребуется передача громадных мощностей порядка 1000 MW при напряжении порядка 600 kV.

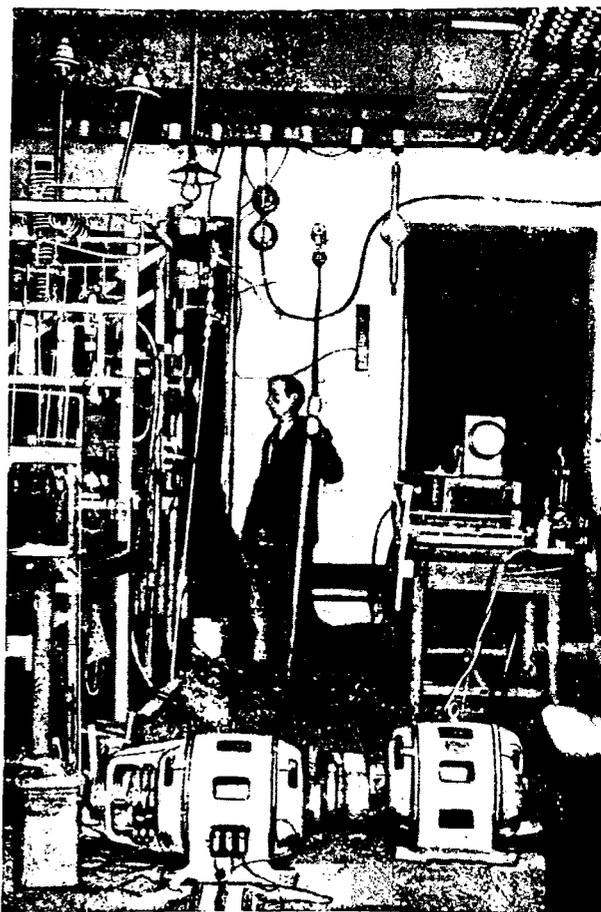


Рис. 15

Потери в ионных преобразователях с холодными электродами и в преобразователях с накаливаемым катодом и магнитным контролем или электрическим управлением (тиратроны) сравнительно невелики и при преобразуемом напряжении в 40 kV на одну трубку обеспечат вполне хороший к. п. д., достигающий согласно расчетам величины $98 \div 99,7\%$.

При переходе к конструкциям мощных преобразователей в лаборатории разработана и испытана (июль 1933 г.) конструкция полуразборной лампы (имеется спай стекла с медью) с резиновыми уплотнениями и стеклом в качестве изолятора. Испытания дали положительный результат как с точки зрения возможности контроля за внутренними частями электродов лампы, так и

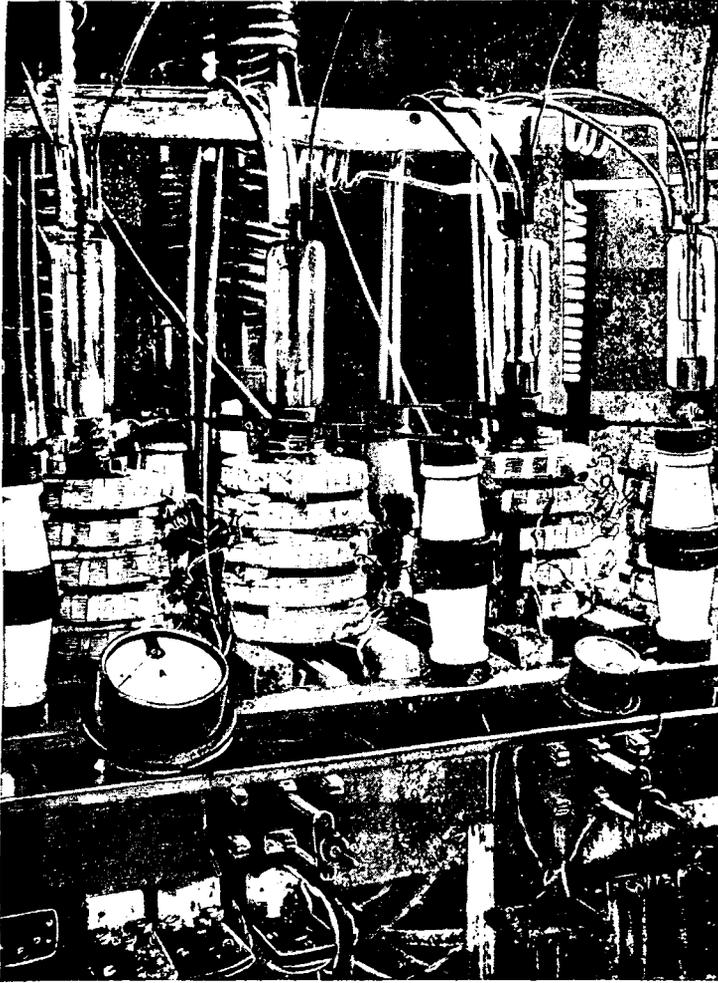


Рис. 16

Требования к вакуумным соединениям в ионных преобразователях значительно легче, чем в пустотных приборах, где требуется вакуум порядка 10^{-6} и даже 10^{-7} мм Hg (вакуум, достижимый в разборных лампах последних моделей зарубежных фирм Telefunken и Metropolitan-Vickers мощностью порядка 500 kW), и легче, чем в ртутных выпрямителях металлической конструкции.

В настоящее время закончена разработка ионного преобразователя, IPS-60-100 с резиновыми уплотнениями и фарфором в качестве изолятора без стекла. Длина трубки 1500 мм, диаметр вместе с катушками магнитного поля возбуждения 300 мм, внутренний диаметр внешнего электрода 100 мм. Оба электрода охлаждаются водой. Фарфоровый изолятор имеет две плоские поверхности, к которым через резиновые уплотнения прижимаются металлические фланцы, держащие электроды преобразователя. Представляет существенный интерес изучение поведения фарфора в вакууме в качестве изолятора.

Предварительные испытания преобразователя IPS-60-100 при работе в качестве выпрямителя дали положительные результаты. На одну фазу была дана нагрузка, доходящая до 1440 kVA со стороны переменного тока. Одна фаза преобразователя была испытана на напряжение от 1500 до 9000 V и при этом дала устойчивое выпрямление. Ток при испытаниях доводился по условиям существующего в лаборатории нагрузочного реостата до 350 А. Первые образцы преобразователей изготовлены с изоляторами, сделанными из стеатита, а не фарфора.

Испытания преобразователей в настоящее время продолжаются, разработана и испытана конструкция

разборная с фарфоровым изолятором специальной конструкции. Испытания дали положительные результаты. Обе конструкции разборных преобразователей имеют соединение с вакуумной системой при помощи резиновой трубки и представляют собой прибор, который легко может быть разобран, проверен и вновь собран. Формовка и тренировка преобразователей производится при холодных, охлаждаемых водой, электродах.

Преобразователь работает на часосе, давление (порядка тысячных долей миллиметра ртутного столба) поддерживается в рабочих границах помощью регулятора.

На рис. 20 представлено несколько разрядных трубок с различными расстояниями b между электродами трубок 1, 2, 3 и 4. В зависимости от давления газа трубки будут проводить ток или нет, причем для каждой трубки имеется свое вполне определенное критическое давление, при котором трубка начинает проводить электрический ток, если давление изменяется фактически от полного вакуума в сторону увеличения. Действительно, согласно нашему представлению о разряде в газе при соблюдении специальных условий разряд начинается тогда, когда давление увеличится настолько, что средняя длина свободного пути электрона будет меньше расстояния между электродами.

Таким образом, имея несколько трубок с различным расстоянием между электродами, мы будем иметь электрический манометр для измерения давления в определенных границах, зависящих от расстояния между электродами трубок.

Специальные условия, о которых говорится выше, заключаются в данном случае в том, чтобы действительно во всех возможных направлениях по силовым линиям электрического поля между электродами расстояние это было

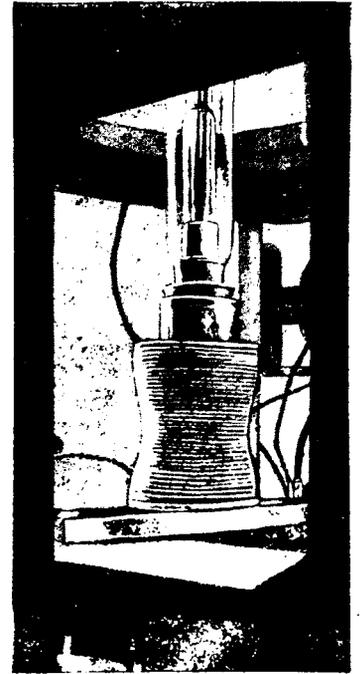
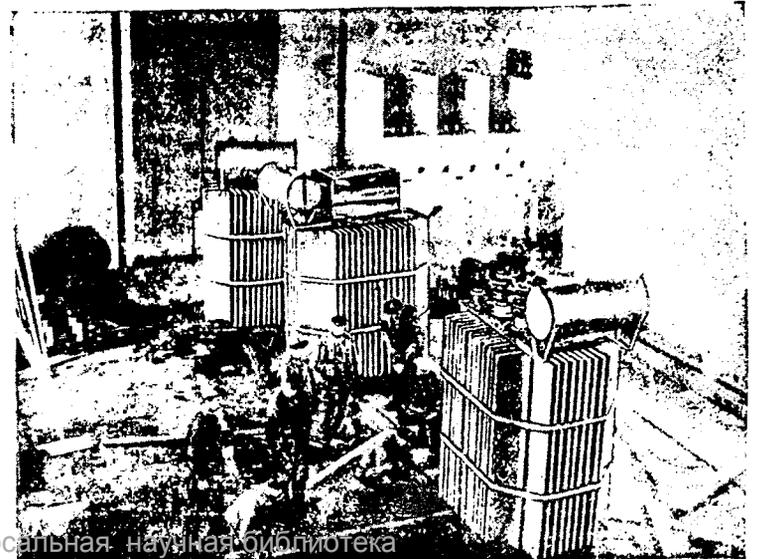


Рис. 17



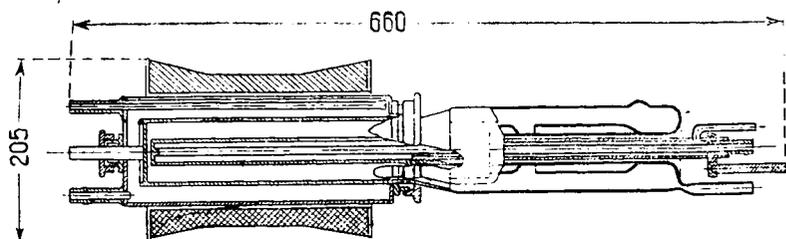


Рис. 19

меньше расстояния между электродами трубки в рабочей их части. Это условие соблюдается конструкцией охранных экранов электродов трубки. При работе такого манометра при давлении, не выходящем за рабочие его границы, часть трубок проводит электрический ток, а часть нет. При изменении давления граница между проводящими и непроводящими трубками изменяется. Манометр этот быстро реагирует на изменение давления. Из-за явления затягивания тока существуют два критических давления: одно, при котором данная трубка начинает проводить электрический ток, и второе (незначительно меньше первого), при котором трубка прекращает проводить электрический ток.

Такой электрический манометр приводит в действие регулятор давления, поддерживающий давление в ионном преобразователе в строго определенных границах для данного преобразователя и данного режима работы.

Газовая среда как источник ионов и электронов ионного, управляемого магнитным полем разряда. Как показали опыты, и согласно произведенным подсчетам газовая среда является достаточным источником ионов и электронов, которые обеспечат практически любой ток, и при этом газовая среда сохраняет полную управляемость помощью магнитного поля.

Приведем некоторый цифровой материал, характеризующий физическую картину прохождения тока в условиях управляемого разряда. Элементарные приближенные подсчеты дают достаточно интересные данные.

Принимая, что большая часть тока переносится электронами, можно подсчитать число электронов в 1 см^3 газовой среды между электродами, а также, зная давление в трубке, легко определить число молекул газа в 1 см^3 . Оказывается, что при токе в 400 А, или плотности тока $3,2 \text{ А/см}^2$ имеем на каждые 5 100 нейтральных молекул одну ионизированную. Среднее расстояние (соответственно) между молекулами $0,15 \mu$ и между электронами $2,5 \mu$. Таким образом между двумя соседними электронами имеется около 17 нейтральных, неионизированных молекул. Этот расчет получен в предположении, что электроны испытывают не больше одного столкновения при движении между электродами. В действительности же электроны на своем пути

между электродами приобретают некоторое, вообще говоря, небольшое число столкновений, и, таким образом, для получения того же тока в единице объема будет большее количество электронов, а следовательно, в действительном газовом разряде мы имеем еще меньшее количество нейтральных молекул.

Однако ввиду больших скоростей электронов, переносящих ток между электродами, для обеспечения указанного тока (400 А или $3,2 \text{ А/см}^2$) необходимо, чтобы каждая молекула газа ионизировалась около 35 000 раз в секунду. При такой интенсивной ионизации продолжает сохраняться полная управляемость газовым разрядом помощью магнитного поля. Ионизированная молекула может быть в состоянии ионизации в течение времени не больше $1/35\,000 = 2,82 \cdot 10^{-5} \text{ сек.}$, за которое она должна успеть рекомбинироваться для того, чтобы снова быть в состоянии дать новый электрон. Так как время рекомбинации порядка $1,0 \cdot 10^{-5} \div 0,1 \cdot 10^{-5} \text{ сек.}$, то мы получаем, что молекулы очень быстро ионизируются после того, как они рекомбинировались.

В действительности не все учтено при составлении данной приближенной картины проводимости, и существуют еще другие источники получения свободных электронов, как, например, вторичное испускание электронов, испускание холодными электродами, ионизация положительными ионами и др.

Тот же расчет для тока в 1 А соответственно дает следующие цифры: на каждые 2 060 000 молекул приходится один электрон, или между двумя соседними электронами имеется до 126 нейтральных молекул. В течение 1 сек. каждая молекула ионизируется только 88 раз вместо 35—100 раз, и для рекомбинации иона соответственно имеется время в $1,128 \cdot 10^{-2} \text{ сек.}$ вместо прежних $2,82 \cdot 10^{-5} \text{ сек.}$ При токе в 1 А (или плотности тока около 8 mA/см^2) получилось интересное численное совпадение между продолжительностью полупериода ($0,01 \text{ сек.}$) тока при частоте 50 Hz и временем между двумя последовательными ионизациями одной и той же молекулы ($0,012 \text{ сек.}$). В случае выпрямления при таких плотностях будем иметь, что каждая молекула, а следовательно, и весь газ (все молекулы) ионизируются один раз, но не одновременно за каждые полупериоды прохождения тока.

Можно говорить о существовании второго тока насыщения при газовом разряде, обусловленного временем рекомбинации ионов. Действительно, если бы мы задались током не в 400 А , что действительно наблюдалось на опыте для данной трубки, имеющей вполне определенные размеры электродов, а например, в 4000 А (31 А/см^2), мы получили бы соответственно следующие цифры: на 516 молекул приходится один электрон; между соседними электронами 7,94 нейтральных молекул; в течение 1 сек. молекула ионизируется 351 000 раз; для рекомбинации иона имеется время в $0,252 \cdot 10^{-5} \text{ сек.}$ В результате получаем время рекомбинации иона ($1,0 \div 0,1 \cdot 10^{-5} \text{ сек.}$), приближающееся к времени, необходимому для рекомбинации иона $0,282 \cdot 10^{-5} \text{ сек.}$, или другими словами, данная газовая среда не может обеспечить тока полностью 31 А/см^2 (или 4000 А для данной трубки) при данном напряжении между электродами, что и вызовет повышение падения напряжения для ускорения процесса после известного предельного значения тока, чтобы то же количество ионов и электронов в 1 см^3 обеспечило большой ток.

Конечно, говорить о дальнейшем ходе характеристики без соответствующей опытной проверки трудно, можно лишь ожидать повышения падения в газовом разряде после перехода плотности тока через предельную. Постановка опыта при такой большой плот-

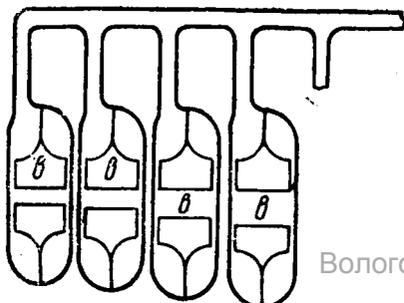


Рис. 20

сти на 1 см² поверхности электрода порядка 6 000 W) не представляется возможной, поэтому эту часть исследования трудно проверить, если не прибегать к мгновенным токам и исследованию помощью осциллографа.

Такой грубо приближенный расчет все же дает следующий вывод: при газовом разряде в условиях ионных преобразователей с магнитным контролем ограничение в токе будет лежать не в газовой среде при сохранении полной управляемости, а в возможном предельном значении той мощности, которая может быть выделена на каждом из холодных электродов без вреда для их поверхности и при достаточно низкой температуре, чтобы не началось нежелательное испускание электронов или испарение и распыление материала электродов.

Основная трудность в разработке конструкции приборов, работающих по принципу короткого пути, заключается в правильной конструкции экранов и защитных устройств на концах электродов трубки.

Детали управляемого ионного разряда

Длина свободного пути электрона в газе. Для правильной работы ионного преобразователя имеет большое значение, как это указано было выше, величина давления, или, вернее, длины свободного пути электрона в газе, наполняющем прибор. На величину длины свободного пути оказывает также большое влияние температура газа. Зависимость от температуры газа имеет более сложный вид. Эта зависимость может быть получена из изменения коэффициента внутреннего трения газа. Зависимость имеет такой характер, что в формуле для длины свободного пути прибавляется еще новый множитель:

$$l = 760 \cdot 4 \sqrt{2} \frac{L}{p} \frac{AT^{3/2}}{T+C} \sqrt{\frac{273}{T}} \text{ см}, \quad (1)$$

где A и C — постоянные, различные для различных газов; L — газовая постоянная (см); p — давление (mm Hg); T — температура (абсолютная); l — длина свободного пути (см). Зависимость длины свободного пути от температуры получается из соображений, что две молекулы сталкиваются друг с другом тогда, когда направление движения второй молекулы относительно первой находится в известном угле α . Так как существует сила притяжения между молекулами, когда они находятся на близком друг от друга расстоянии, то этот угол α несколько больше того угла, который получился бы, если исходить из чисто геометрических соображений, т. е. молекулы могли бы не столкнуться, но в силу притяжения молекул получается столкновение.

С увеличением температуры газа скорости молекул увеличиваются, и сила притяжения действует в течение меньшего времени, поэтому при большей температуре длина свободного пути несколько увеличивается.

При рассмотрении вопроса работы ионных преобразователей приходится считаться с тем, что температура газа неодинакова для всего преобразователя. В пространстве между электродами температура газа одна, а в нерабочей части объема трубки температура газа другая. Если это обстоятельство учесть, для длины свободного пути получается зависимость от температуры рабочей части и температуры нерабочей части и объема трубки, а также и от соотношения этих объемов. При работе трубки получается, что при увеличении температуры газа в рабочей части часть газа как бы уходит в нерабочую часть трубки, в силу чего длина свободного пути в рабочей части

Изменение длины свободного пути от нагревания газа (азота)

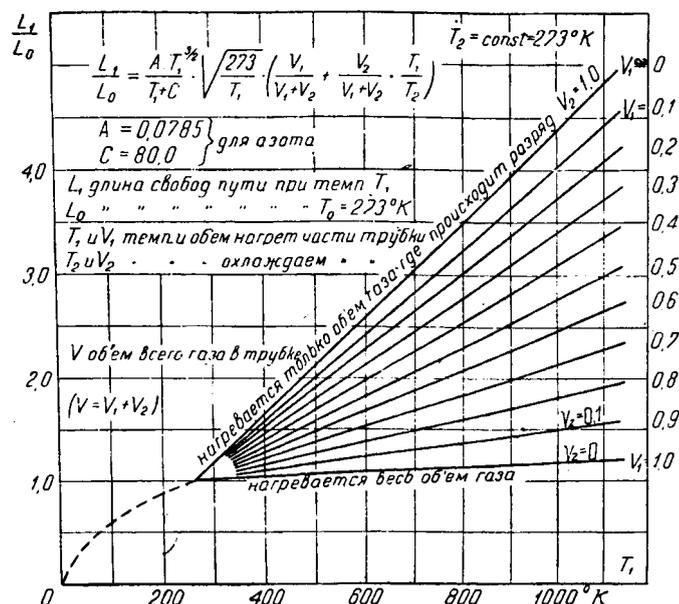


Рис. 21

Для длины свободного пути в этом случае имеем следующую формулу:

$$l = 760 \cdot 4 \sqrt{2} \frac{L}{p} \frac{AT_1^{3/2}}{T_1+C} \sqrt{\frac{273}{T_1}} \left(\frac{V_1}{V_1+V_2} + \frac{V_2}{V_1+V_2} \cdot \frac{T_1}{T_2} \right), \quad (2)$$

где V_1 и V_2 — соответственно рабочий и нерабочий объемы газа, T_1 и T_2 — температуры рабочей и нерабочей части объема преобразователя.

Если по этой формуле сделать расчет для конкретного случая, получается зависимость длины свободного пути от нагревания самого газа, изображенная на рис. 21.

Если весь объем газа греется (нерабочий объем преобразователя невелик), то с увеличением температуры происходит небольшое увеличение свободного пути. Расчет, сделанный для температуры до тысячи градусов, для азота показал, что увеличение длины свободного пути в данном случае составляет всего 13%.

При большом нерабочем объеме газа получается значительное увеличение длины свободного пути. Таким образом при конструировании преобразователя это обстоятельство приходится учитывать и вводить его в расчет.

Зона проводимости. Проводимость газовой среды зависит от того соотношения, которое имеется между длиной свободного пути электронов и расстоянием между электродами. Рассмотрим движение электронов под влиянием электрического поля и магнитного поля, направленного перпендикулярно электрическому полю для случая двух плоских электродов. При увеличении магнитного поля происходит отклонение движения электрона от силовой линии, и при некотором „критическом“ значении магнитного поля электроны будут только касаться второго электрода и возвращаться обратно, причем уравнение траектории электрона есть уравнение циклоиды, длина которой равна четырем расстояниям между электродами. Таким образом в случае плоских электродов можно получить увеличение пробега электрона в че-

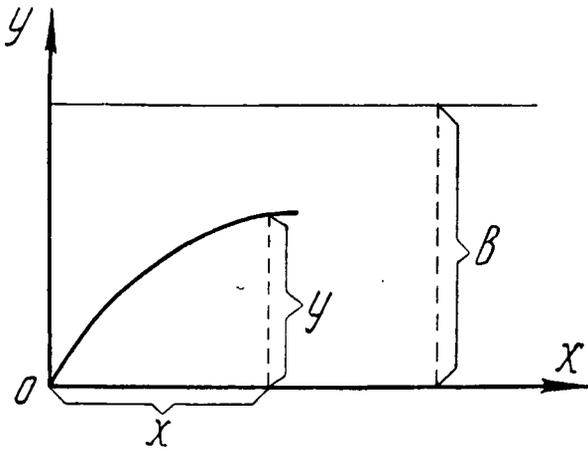


Рис. 22

Уравнение движения электронов (рис. 22) в случае плоских электродов будет иметь такой вид:

$$\left. \begin{aligned} m \frac{d^2 y}{dt^2} &= eX - He \frac{dx}{dt} \\ m \frac{d^2 x}{dt^2} &= He \frac{dy}{dt} \\ m \frac{d^2 z}{dt^2} &= Ze, \end{aligned} \right\} (3)$$

где e — заряд электрона; m — масса электрона; X — электрическая сила (V/cm), H — напряжение магнитного поля, Z — электрическая сила в направлении магнитного поля.

Решение этого уравнения, данное Томсоном, имеет такой вид:

$$\left. \begin{aligned} Z &= \frac{1}{2} \frac{Ze}{m} t^2 - \omega_0 t, \\ Y &= \left(\frac{X}{H} - v_0 \right) (1 - \cos \omega t) + \frac{v_0}{\omega} \sin \omega t, \\ X &= \frac{u_0}{\omega} (1 - \cos \omega t) + \frac{X}{H} t + \left(u_0 - \frac{X}{H} \right) \frac{1}{\omega} \sin \omega t, \end{aligned} \right\} (4)$$

где $\omega = \frac{He}{m}$; u_0 — начальная скорость электронов в направлении оси X ; v_0 — начальная скорость электронов в направлении оси Y ; ω_0 — начальная скорость электронов в направлении оси Z .

При тех напряжениях, с которыми приходится иметь дело (напряжения порядка нескольких сотен и даже тысяч вольт), с начальными скоростями электронов, которые измеряются величиной порядка меньше 1 V, можно пренебречь. Тогда уравнения (4) примут вид уравнения циклоиды:

$$\left. \begin{aligned} Y &= \frac{X}{\omega H} (1 - \cos \omega t), \\ X &= \frac{X}{\omega H} (\omega t - \sin \omega t). \end{aligned} \right\} (5)$$

Величина критического значения магнитного поля, при котором электроны только касаются второго электрода, выражается таким образом:

$$H_{kp} = \sqrt{\frac{2m}{e}} \cdot \frac{\sqrt{E}}{b} = 3,35 \frac{\sqrt{E}}{b}, \quad (6)$$

где H_{kp} выражено в гауссах и $E = Xb$ — в вольтах; b — расстояние между электродами (см). Формула дает величину критического значения магнитного поля, но нас интересует величина самого пробегания, величина того пути, который проходит

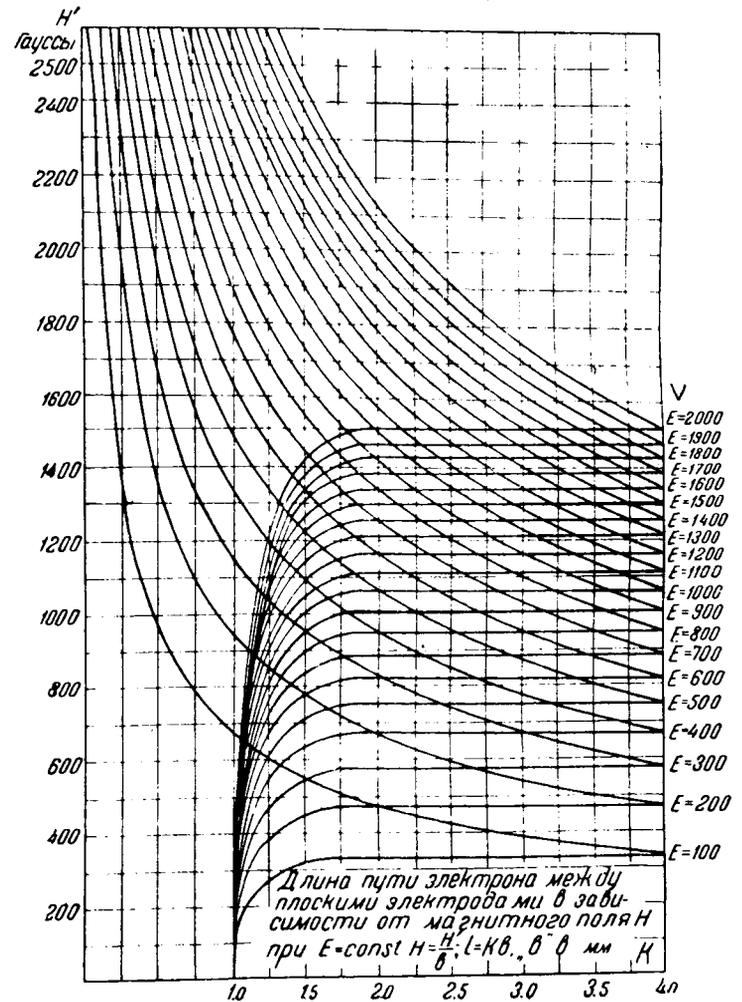


Рис. 23

Уравнение для определения пробегания электрона между плоскими электродами, данное автором, будет:

$$H = 3,35 n \frac{\sqrt{E}}{b}, \quad (7)$$

где n — коэффициент, учитывающий увеличение проходного пути электроном сравнительно с расстоянием между электродами.

Коэффициент n равен

$$n' = \sqrt{\frac{4(K-1)}{K^2}}$$

для случая, когда магнитное поле $H < H_{kp}$ и равен

$$n'' = \sqrt{\frac{4}{K}}$$

для случая, когда магнитное поле $H > H_{kp}$; здесь $K = \frac{S}{b}$ показывает, во сколько раз траектория электрона S больше расстояния b между электродами.

В случае когда магнитное поле больше критического, электроны описывают циклоиды все меньших и меньших радиусов. При критическом значении магнитного поля радиус циклоиды $r = \frac{b}{2}$. Если сделать

вычисления для пробегания электрона между плоскими электродами в магнитном и электрическом полях, получим диаграмму рис. 23. По диаграмме рис. 23 составляется диаграмма рис. 24, дающая кривые равных пробегов электронов.

Настоящий расчет приведен для того, чтобы пока-

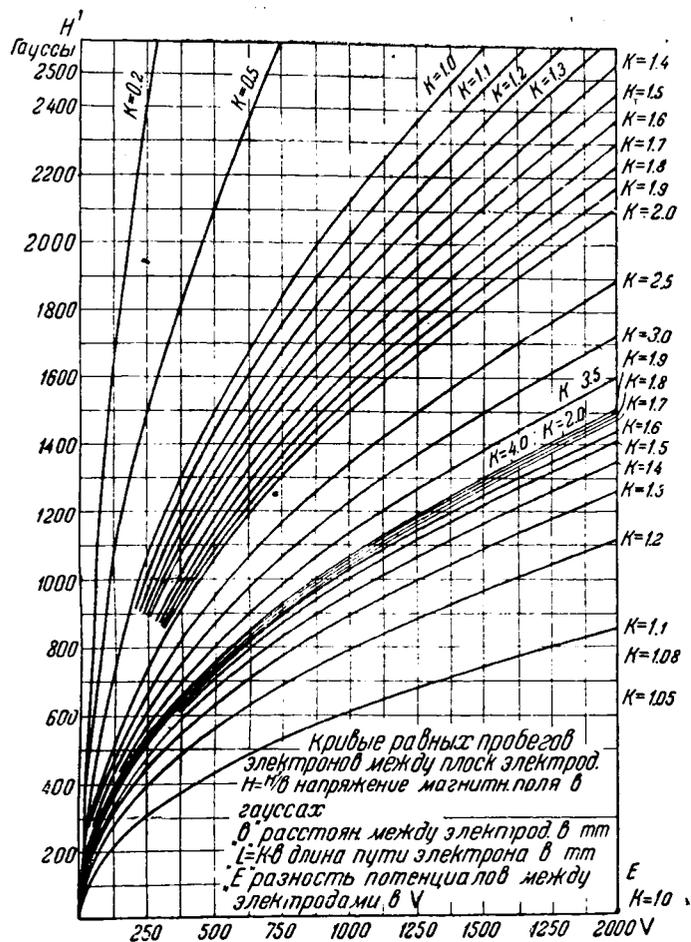


Рис. 24

чается возможность расчета проводимости газовой среды, подобно тому, как рассчитывается проводимость пустотных приборов.

Самый большой путь для электрона в рассматриваемом нами случае плоских электродов может быть равен $4b$ при критическом значении магнитного поля; до критического значения длина пути увеличивается от значения b до $2b$, затем резко возрастает до $4b$, когда электрон касается второго электрода, а при дальнейшем увеличении магнитного поля длина новых циклоид все уменьшается и уменьшается, проходя значения $3,5b, 3b, 2b, 1,5b, 0,5b$ и т. д. теоретически до нуля.

Если провести кривые равных пробегов электронов, мы получим диаграмму рис. 25, где каждая кривая соответствует определенному заданному коэффициенту K . Так получим кривые для $K=1,5, K=1,2$ и т. д., для $K=3,5, K=2$ и т. д. Если мы зададим такое давление газа в преобразователе, что длина свободного пути электрона l будет немного больше $2b$ (и меньше чем $4b$), для всех пробегов электронов по траекториям до критической величины магнитного поля длина свободного пути будет больше тех путей, которые проходят электроны, и ионизации происходить не будет.

В случае же перехода через критическое значение магнитного поля пробег электронов станет сразу больше $2b$ и меньше $4b$. Вследствие этого при достижении критического значения магнитного поля будет иметь место ионизация, так как длина пробега будет больше средней длины свободного пути для всех значений магнитного поля, таких, при которых длина пробега не будет опять меньше или равна $2b$.

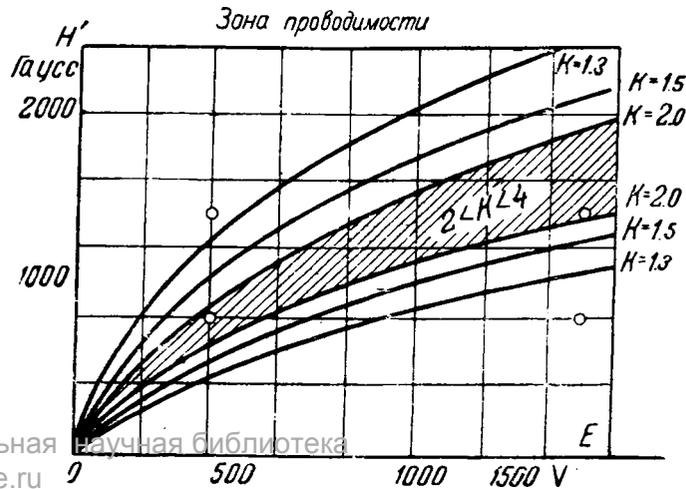
Если мы на диаграмме (рис. 25) отметим эти две кривые для $K=2$, то для всей той зоны, которая заключена между этими кривыми (эту зону мы назо-

нов будет больше $2b$, а при заданном давлении— больше длины свободного пути, вследствие чего такая трубка будет проводить электрический ток. Таким образом если будем иметь магнитное поле 1 400 гауссов и будем в это время иметь напряжение 1,5 кВ, то трубка будет проводить электрический ток; если же при 1,5 кВ напряжение магнитного поля будет только 800 гауссов, тогда трубка не будет проводить электрического тока, так как пробеги электронов лежат вне зоны проводимости. Если при тех же условиях при 800 гауссах будем иметь меньшее напряжение на трубке, например, 400 В, то трубка опять будет проводить электрический ток, так как пробеги электронов опять лежат в зоне проводимости.

Действительно, нам удалось получить такие на первый взгляд парадоксальные результаты, когда при определенном магнитном поле, давлении газа и большом напряжении на трубке последняя не проводила электрического тока, пока напряжение не было понижено. Наблюдался такой случай: к трубке приложено 6 000 В; трубка не проводит электрического тока. После этого начинают понижать электрическое напряжение на трубке, не изменяя магнитного поля, и когда напряжение понижается до соответствующей величины (на опыте около 2 000 В), трубка начинает проводить ток. Для газового разряда это совершенно необычное явление.

Точное вычисление этих траекторий играет очень существенную роль, потому что, как показал эксперимент, проводимость трубки очень точно следует за этими теоретическими вычислениями. Вычисления эти довольно сложны. В случаях плоских электродов эта задача мною разрешена полностью, в случае же цилиндрических электродов уравнения движения электрона точно не решаются, и в настоящее время нам приходится ограничиваться лишь приближенными решениями, которые еще не вполне закончены, потому что получаются слишком сложные зависимости, математически трудно разрешимые. Практически же в случае цилиндрических электродов для зоны проводимости получаются гораздо лучшие соотношения. Поэтому практическое осуществление таких преобразователей пошло по линии цилиндрических электродов.

Если проанализировать возможность получения для плоских электродов удовлетворительного режима для выпрямления тока, то из диаграммы рис. 26 видно, что такого режима получить не удастся. Как получить одностороннюю проводимость прибора в случае выпрямления при плоских электродах? Так как напряжение между электродами за каждый период меняет свой знак, то казалось бы, что нужно было задать такое постоянное магнитное поле, при котором траектория электронов имела бы некоторое среднее значе-



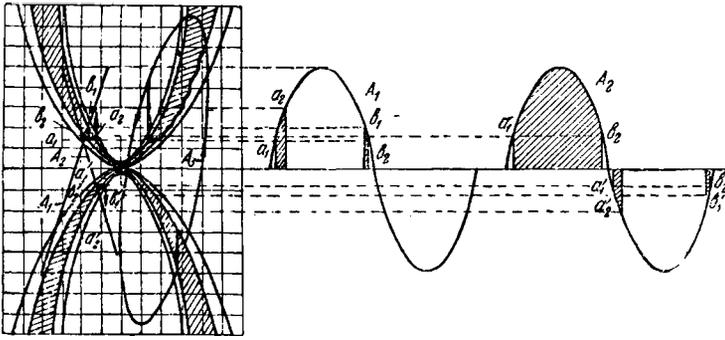


Рис. 26

ние между прямой и траекторией при критическом значении магнитного поля, и на это постоянное поле наложить переменное магнитное поле таким образом, чтобы эти поля за одну половину периода складывались так, чтобы получилось критическое (или более критического) значение магнитного поля, а за вторую половину периода переменное магнитное поле, накладываясь на постоянное магнитное поле и имея противоположный знак, в результате уменьшало бы основное магнитное поле, и траектории электронов были бы короче.

Если на постоянное магнитное поле наложить переменное магнитное поле, то в зависимости от фазы между переменным магнитным полем и электрическим напряжением на трубке можем получить разные кривые соотношений между магнитным и электрическим полем, что и изображается на диаграмме рис. 26 в виде кривых A_1 , A_2 , A_3 .

Кривая A_2 . Магнитное переменное поле равно нулю и напряжение равно нулю, электрическое напряжение повышается, магнитное поле увеличивается. Электрическое напряжение, пройдя через максимум, падает до нуля, магнитное — тоже; после этого электрическое напряжение повышается в другом направлении, а напряжение магнитного поля уменьшается. Мы имеем кривую A_2 на диаграмме рис. 27. Этой кривой соответствует синусоида A_2 , где заштрихованная площадь соответствует зоне проводимости или дает время, в течение которого трубка проводит электрический ток.

За первую половину периода мы имеем большой участок, когда трубка проводит ток. В точке a_2 возникает ток, который прекращается в точке b_1 . За другую половину периода ток возникает в точке a_1' , затем прекращается в точке a_2' и затем снова возникает и прекращается в точках b_1' и b_2' . Таким образом и за одну и за другую половины периода получаем прохождение тока. Получается невыгодное соотношение токов для целей выпрямления.

Кривая A_1 дает одностороннюю проводимость, но также дает технически непригодный для целей выпрямления результат. Мы должны были бы дать большую амплитуду переменного поля таким образом, чтобы изменить наклон прямой, и, как видно из диаграммы, можно получить одностороннюю проводимость, но время, в течение которого будет проходить ток, еще более сузится, и работа будет невыгодна. Настоящее теоретическое исследование ценно тем, что оно действительно оправдывается на практике, когда удается получить любое соотношение между токами, как то следует из диаграммы.

Кривая A_3 соответствует случаю, когда между электрическим напряжением и магнитным полем имеется сдвиг фазы ϕ ($0 < \phi < \frac{\pi}{2}$). Развертку синусоиды для кривой A_3 можно получить тем же путем,

Таким образом можно на основании анализа диаграммы рис. 26 получить почти любую форму кривой тока при соответствующем подборе магнитных полей и фазы. Так, например, за одну половину периода можно получить прохождение тока два раза, за другую половину — один раз или ни одного раза; можно получить удвоение, утроение, учетверение и т. д. частоты при соответствующем подборе величин согласно диаграмме рис. 26.

В случае цилиндрических электродов соотношение между магнитным и электрическим полями выгодно для целей преобразования постоянного тока в переменный и обратно — переменного в постоянный, так как из-за несимметрии электродов диаграмма проводимости (рис. 25) имеет разный вид в зависимости от знака напряжения. За одну половину периода диаграмма имеет вид, похожий на диаграмму рис. 26, за вторую половину периода диаграмма проводимости (заштрихованная область) лежит значительно ниже. Поэтому можно получить, даже имея только одно постоянное магнитное поле, полное выпрямление тока.

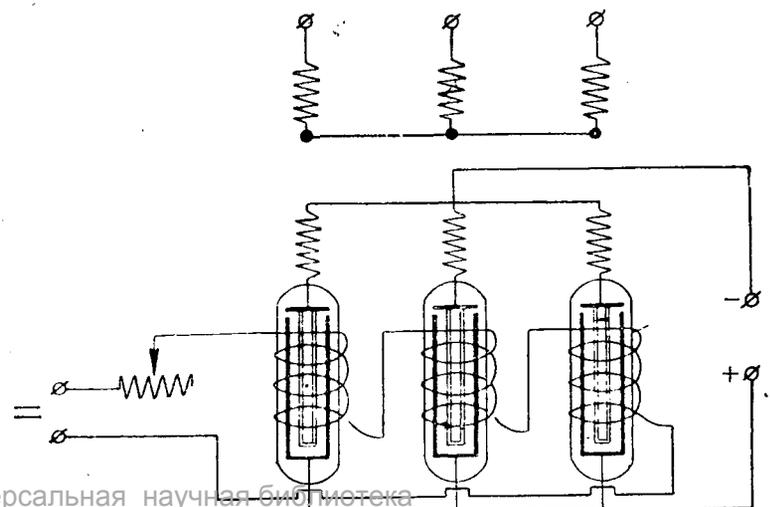
На рис. 27 дана схема включения трех трубок при выпрямлении трех фаз переменного тока.

Постоянное магнитное поле возбуждения может быть осуществлено, как показано на рис. 26, общим током возбуждения при последовательном соединении катушек возбуждения.

Прохождение тока только в одном направлении в случае цилиндрических электродов при наличии постоянного магнитного поля объясняется следующим образом: в том случае, когда внутренний электрод положительный, а наружный — отрицательный, если мы приложим постоянное магнитное поле, направленное по оси цилиндрических электродов, то электроны могут пройти путь 1 (рис. 28), если магнитное поле достигает критического значения. За другую половину периода, когда внутренний электрод отрицательный, электроды будут проходить путь 2 при том же значении магнитного поля. Для отклонения электронов по пути 3 нужно значительно большее магнитное поле, чем для отклонения электронов по траектории 1, что следует из уравнений для критического значения магнитного поля.

В случае цилиндрических электродов критическое значение магнитного поля определяется уравнением

$$H = 3,35 \frac{\sqrt{E}}{b_R} \quad (8)$$



для случая, когда внутренний электрод положительный, и уравнением

$$H = 3,35 \frac{\sqrt{E}}{b_r} \quad (9)$$

для случая, когда внутренний электрод отрицательный. В этих уравнениях

$$b_R = \frac{R^2 - r^2}{2r}$$

и

$$b_r = \frac{R^2 - r^2}{2R}$$

так называемые фиктивные расстояния; R и r — соответственные радиусы внешнего и внутреннего электродов.

Поэтому, если иметь только постоянное магнитное поле, меньшее критического для второй половины периода, то получается, что за первую половину периода электроны проходят большие пути, происходит ионизация, и трубка проводит ток, а за другую половину периода это магнитное поле недостаточно и хотя и происходит некоторое искривление траектории электронов, но проходимые ими пути недостаточны, и такая трубка не проводит электрического тока; таким образом осуществляется односторонняя проводимость.

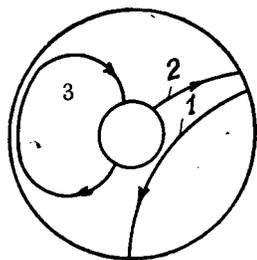


Рис. 28

Следовательно, в случае двух холодных электродов, при наличии газа, при строго определенном давлении, когда длина свободного пути электронов больше расстояния между электродами, имеется возможность вполне точно указанным выше образом при помощи магнитного поля управлять газовым разрядом, т. е. вызывать его или прекращать в требуемый момент времени. Это — основной принцип работы ионного преобразователя.

Объемный заряд. Все исследование движения электрона между плоскими поверхностями под влиянием электрического и магнитного полей было произведено в предположении, что в пространстве между электродами не имеется никаких объемных зарядов. Или, другими словами, изучалось движение одного электрона, когда кроме него в движении принимает участие очень небольшое количество электронов. Физически можно считать с достаточной точностью, что это решение соответствует началу прохождения тока через такой газовый промежутки, что и отвечает действительным условиям начала работы преобразователя. В работе же газового преобразователя главное внимание как раз и обращено на создание таких условий, чтобы разряд начался. Для полноты рассмотрения явления посмотрим хотя бы очень кратко, как влияет объемный заряд на явление прохождения тока и, в частности, на величину критического магнитного поля. Пусть распределение потенциала между плоскими электродами будет

$$U_y = \int_0^y X dy,$$

где X — неизвестная функция от E, i, y (E — разность потенциалов между электродами; i — ток, y — расстояние от поверхности электрода катода):

$$X = f(E, i, y).$$

Интегрируя второе уравнение из приведенных ранее для случая плоских электродов, получаем

$$\frac{dx}{m} = Hev \quad (10)$$

кинетическая энергия электрона, запасенная им при движении, равна

$$\frac{mv^2}{2} = eU_y = e \int_0^y f(E, i, y) dy,$$

откуда

$$v = \sqrt{\frac{2e}{m} \int_0^y f(E, i, y) dy}.$$

При критическом значении магнитного поля в точке $y = b$ скорость $v = \frac{dx}{dt}$, откуда, принимая во внимание уравнение (10), имеем

$$\frac{He}{m} y = \sqrt{\frac{2e}{m} \int_0^y f(E, i, y) dy}.$$

Подставляя $y = b$, получаем

$$H = \sqrt{\frac{2e m^2}{b^2 e^2 m} \int_0^{y=b} f(E, i, y) dy} = \sqrt{\frac{2m}{eb^2} \int_0^{y=b} f(E, i, y) dy} \quad (11)$$

Каково бы ни было распределение потенциала между плоскими электродами, значение интеграла

$$\int_0^{y=b} f(E, i, y) dy$$

в пределах от $y = 0$ до $y = b$ будет равно приложенной к трубке разности потенциалов E ; следовательно, и в этом случае, принимая во внимание существование объемного заряда для критического магнитного поля, получим ту же величину;

$$\int_0^{y=b} f(E, i, y) dy = U_{y=b} = E$$

и

$$H = \sqrt{\frac{2m}{e} \cdot \frac{E}{b}}.$$

Хотя критическое магнитное поле имеет ту же самую величину при существовании объемного заряда, как и без него, однако из этого не следует, что электрон при критическом значении магнитного поля (а также соответственно при магнитных полях, меньших и больших критического) будет иметь ту же самую длину проходимого пути. На этот вопрос можно ответить только зная вид функции $X = f(E, i, y)$, проинтегрировав уравнения (3).

Подставив в первое уравнение (3) величины x и

$$\frac{dx}{dt} = \frac{Hey}{m},$$

получим

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} - ef(E, i, y) + He \frac{Hey}{m} = 0.$$

Обозначим $f(E, i, y)$ для постоянных E и i через

$$f(E, i, y) = \varphi(y) \quad (12)$$

и, подставив в предыдущее уравнение, получим

$$\frac{dy^2}{dt^2} + \left(\frac{He}{m}\right)^2 y - \frac{e}{m} \varphi(y) = 0. \quad (13)$$

Если известна функция $\varphi(y)$, то можно найти решение этого дифференциального уравнения и ответить на поставленный вопрос о длине пути электрона при движении его между плоскими электродами при существовании объемного заряда.

Введем функцию, равную

$$\psi(y) = - \left(\frac{He}{m} \right)^2 y + \frac{e}{m} \varphi(y). \quad (14)$$

Тогда

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = \psi(y)$$

и, полагая

$$\frac{dy}{dt} = p,$$

в результате получим

$$\frac{dy}{\sqrt{2 \int \psi(y) dy + C_1}} = dt,$$

откуда общий интеграл уравнения (13) будет

$$t = \int \frac{dy}{\sqrt{2 \int \left[\frac{e}{m} f(E, i, y) - \left(\frac{He}{m} \right)^2 y \right] dy + C_1}} + C_2. \quad (15)$$

Рассмотрим движение электрона между плоскими электродами при существовании объемного отрицательного заряда. Для распределения объемного заряда примем распределение его по уравнению, данному J. J. Thomson'ом⁷⁾ и J. Langmuir'ом⁸⁾ из уравнений Лапласа, и в этом случае решим интеграл (15) и уравнения (3), которые дадут траекторию электрона при существовании объемного отрицательного заряда.

По уравнению Langmuir'a

$$i = \frac{\sqrt{2}}{9\pi} \sqrt{\frac{e}{m}} \frac{U_y^{3/2}}{y^2} \quad (16)$$

для градиента X имеем следующую зависимость:

$$f(E, i, y) = X = \frac{dU}{dy} - (9\pi i)^{2/3} \left(\frac{m}{2e} \right)^{1/3} \cdot \frac{4}{3} y^{1/3} = \gamma y^{1/3}, \quad (17)$$

где

$$\gamma = (9\pi i)^{2/3} \left(\frac{m}{2e} \right)^{1/3} \cdot \frac{4}{3}.$$

При существовании магнитного поля электроны будут отклоняться от своего движения вдоль силовой линии и иметь соответствующие скорости в направлении электрического поля (силовой линии), меньшие, чем при $H=0$. Это обстоятельство скажется на изменении распределения объемного заряда, и распределение уже будет не по уравнению Langmuir'a (16). Таким образом для точного решения поставленной задачи надлежало бы решать совместно и движение электрона и распределение потенциала при существовании магнитного поля. Но указанное обстоятельство вносит слишком большие трудности в решение, и в дальнейшем мы будем пренебрегать отклонением распределения объемного заряда от распределения по уравнению (16), тем более, что, как это будет показано ниже, общее изменение длины траектории, вычисленное при распределении потенциала по уравнению (16), в предельном случае ($H=H_{кр}$) достигает сравнительно небольшой величины (около 18%). Возможно, что отклонение распределения потенциала от распределения по уравнению (16) будет иметь большие значения при магнитном поле, большем критического, чем при магнитном поле, меньшем критического. Можно предполагать, что при магнитном поле, меньшем критического, распределение потенциала будет приближаться к равномерному распределению, так как у положительного электрода возрастает плотность отрицатель-

ного заряда, и таким образом действительная траектория движения электрона будет между траекторией по циклоиде и траекторией, определяемой ниже уравнениями (23) и (25), являющимися решением задачи при предположении распределения потенциала по уравнению (16).

Подставляя функцию $f(E, i, y)$ в общий интеграл (15), получаем

$$t = \int \frac{dy}{\sqrt{2 \int \left[\frac{e}{m} \gamma y^{1/3} - \left(\frac{He}{m} \right)^2 y \right] dy + C_1}} + C_2. \quad (18)$$

Интегрируя подкоренное количество и принимая во внимание, что $C_1=0$ (так как $\frac{dy}{dt}=0$ при $y=0$), имеем

$$t = \int \frac{dy}{2 \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \gamma_1 y^{4/3} - \frac{1}{2} \alpha^2 y^2}} + C_2,$$

или

$$t = \frac{1}{2} \int \frac{dy}{\sqrt{\beta_1^2 y^{4/3} - \alpha_1^2 y^2}} + C_2, \quad (19)$$

где

$$\beta_1^2 = \left(\frac{9ie}{m} \right)^{2/3} \cdot \left(\frac{\pi}{4} \right)^{2/3}$$

и

$$\alpha_1^2 = \left(\frac{He}{2m} \right)^2.$$

Интеграл (19) есть интеграл от биномиального дифференциала

$$t = \frac{1}{2} \int y^{-2/3} (\beta_1^2 - \alpha_1^2 y^{2/3})^{-1/2} dy + C_2. \quad (20)$$

Интегрируя, получаем

$$\operatorname{tg} \left(C_2' - \frac{2\alpha_1}{3} t \right) = \sqrt{\frac{\beta_1^2 y^{-2/3}}{\alpha_1^2} - 1}. \quad (21)$$

Определяя постоянную интегрирования C_2' из условия, что при $t=0, y=0$, получаем

$$\operatorname{tg} C_2' = \infty$$

или

$$C_2' = \frac{\pi}{2}.$$

Таким образом решение интеграла (15) будет

$$\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \frac{2}{3} \alpha_1 t \right) = \operatorname{ctg} \frac{2\alpha_1}{3} t = \sqrt{\left(\frac{\beta_1}{\alpha_1} \right)^2 y^{-2/3} - 1}. \quad (22)$$

Решая это уравнение относительно y , находим

$$y = 18\pi \left(\frac{m}{e} \right)^2 \frac{i}{H^3} \sin^3 \frac{He}{3m} t = \left(\frac{2m}{e} \right)^{3/2} \frac{U^{3/2}}{H^3 b^2} \sin^2 \frac{He}{3m} t. \quad (23)$$

Интегрируя уравнение (3), мы получаем следующее выражение для x :

$$x = \frac{He}{m} \int y dt = \frac{He}{m} 18\pi \left(\frac{m}{e} \right)^2 \frac{i}{H^3} \int \sin^3 \frac{He}{3m} t dt. \quad (24)$$

Последний интеграл легко берется, если воспользоваться подстановкой

$$\sin \frac{He}{3m} t = z.$$

⁷⁾ Thomson, Conduction of Electricity through Gases, 2-е изд. стр. 223.

циала приближается скорее к распределению потенциала без объемного заряда, чем к распределению по уравнению (16).

Таким образом изменение траектории электрона, вычисленное в предположении распределения потенциала по уравнению Langmuir'a, возможно является максимальным изменением, в действительных же условиях искажение траектории, вносимое объемным зарядом, меньше. Но, конечно, это есть предположение, точное же решение требует учета всех указанных факторов.

Определим длину пути, проходимого электроном при движении его по кривой, определяемой уравнениями (23) ÷ (25):

$$\left. \begin{aligned} x &= r(\cos^3 \varphi - 3 \cos \varphi + 2), \\ y &= r \sin^3 \varphi, \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

где

$$r = 18 \pi \left(\frac{m}{e} \right)^2 \frac{i}{H^3} = \left(\frac{2m}{e} \right)^{3/2} \frac{U^{3/2}}{H^3 b^2},$$

$$\varphi = \frac{He}{3m} t$$

при $H = H_{кр}$ и $z = y_{\max} = b$.

Для длины дуги кривой (30) получим

$$\begin{aligned} S &= \int_{\varphi_0}^{\varphi} \sqrt{dx^2 + dy^2} = \int_{\varphi_0}^{\varphi} 3r \sin^2 \varphi d\varphi = \\ &= 3r \left[\frac{\varphi - \cos \varphi \cdot \sin \varphi}{2} \right]_{\varphi_0}^{\varphi} \end{aligned} \quad (31)$$

Длина дуги кривой (30) от начала до точки касания второго электрода определяется из условий

$$\varphi_0 = \frac{He}{3m} t = 0, \quad \varphi = \frac{He}{3m} t = \frac{\pi}{2},$$

откуда получаем

$$S = 3r \frac{\pi}{2} = \frac{3}{4} \pi r = \frac{3}{4} \pi b.$$

Длина всего критического пути, или длина всей кривой

$$S = 2 \cdot \frac{3}{4} \pi b = 4,72b. \quad (32)$$

В случае циклоиды мы имели полную длину ее $S = 4b$.

Наибольшее удлинение пути электрона, вызванное существованием объемного заряда, составляет всего 18% $\left(\frac{4,72}{4} = 1,18 \right)$ по сравнению с длиной пути электрона при отсутствии объемного заряда.

В общем случае движения электрона при существовании объемного заряда (когда значение магнитного поля больше или меньше критического) длина пути, проходимая электроном между электродами, определяется аналогичным рассмотренному выше случаю при отсутствии объемного заряда.

Ниже приводим формулу, определяющую длину пробега электрона для случая, когда магнитное поле меньше критического, а величина тока ограничена объемным зарядом по уравнению (16). Значение коэффициента K — то же самое, что и в рассмотренных ранее случаях, имеем

$$S = Kb = \frac{3}{2} r \left\{ \arcsin \left(\frac{b}{r} \right)^{1/2} - \left(\frac{b}{r} \right)^{1/2} \cos \left[\arcsin \left(\frac{b}{r} \right)^{1/2} \right] \right\} \quad (33)$$

для $r > b$, где

$$r = 18 \pi \left(\frac{m}{e} \right)^2 \cdot \frac{i}{H^3} = \left(\frac{2m}{e} \right)^{3/2} \frac{U^{3/2}}{H^3 b^2}. \quad (34)$$

Для $H = H_{кр}$, $r = b$, и тогда формула (33) дает

$$S = Kb = \frac{3}{2} b \frac{\pi}{2},$$

т. е. длину кривой до точки касания со вторым электродом.

При значении магнитного поля $H > H_{кр}$ для длины всего пути электрона получаем

$$S = Kb = \frac{3}{2} \pi r.$$

При этом условии $r < b$ и r определяется из уравнения (34).

Таким образом диаграммы, изображенные на рис. 24 ÷ 27, для случая движения электрона при существовании объемного заряда возможно, что незначительно изменят свои численные значения, оставаясь по существу такими же.

Новые виды ионного управляемого разряда

Катод, накаливаемый ионной бомбардировкой. Охранные электроды. Объемный и магнитный контроль. Применение накаливаемого катода в ионном приборе значительно понижает напряжение, необходимое для проведения тока между катодом и анодом. Постройка катода на большой ток вызывает затруднение из-за наложения анодного тока на ток накала, о чем было указано выше. Поэтому представляет большой интерес постройка катода, температура которого поддерживалась бы и создавалась за счет энергии, выделяющейся в анодной цепи в виде ионной бомбардировки катода. Автором в 1928 г.⁹⁾ был предложен ионный прибор, имеющий катод, накаливаемый ионной бомбардировкой. Для включения прибора может быть дополнительный катод, накаливаемый током, или разряд начинается с острия на электроде, который должен при дальнейшей работе стать катодом.

Для того чтобы газовая среда обладала достаточной прочностью и не проводила тока и при очень высоком напряжении, мы знаем, что достаточно, чтобы конструкция электродов обеспечивала соблюдение определенных условий, заключающихся в том, что длина свободного пути электрона была больше расстояния между электродами в нерабочей части между электродами преобразователя. В рабочей же части можно при известной конструкции допустить нарушение этого условия и иметь ионизацию для уменьшения пространственного объемного заряда. За вторую (непроводящую) половину периода ток не будет проходить, и ионизация не возникнет, так как облако положительного объемного заряда не успеет уйти из рабочей части объема преобразователя. Этот принцип управления проводимостью помощью „объемного контроля“ был впервые предложен Busch'ем и Smith'ом

в 1922 г.¹⁰⁾ На рис. 29 дан разрез электродов, имеющих главный катод K_1 , накаливаемый ионной бом-

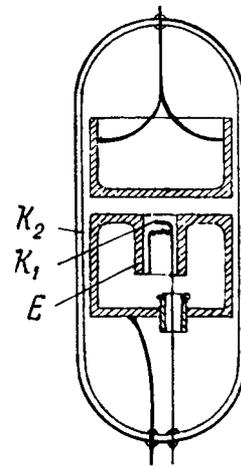


Рис. 29

⁹⁾ М. Ситников, Авторское свидетельство № 18362 от 9 мая 1928 г.

бардировкой, вспомогательный катод K_2 и охранные электроды E , обеспечивающие условие, при котором расстояние между электродами меньше длины свободного пути электрона при данном давлении. Накаленный катод помещен в углубление в катоде для возможности нейтрализации объемного отрицательного заряда движущимися к накаленной части катода положительными ионами. Рис. 29 взят из описания авторского свидетельства на ионный прибор с катодом, накаливаемым ионной бомбардировкой. Конечно, при техническом оформлении указанных приборов конструкция будет иметь другой вид. Кроме того, катод, накаливаемый ионной бомбардировкой, может и не иметь специальных охранных поверхностей (см. рис. 1 того же авторского свидетельства) в случае, если не стремятся к возможно большему выпрямляемому напряжению.

Применение накаленного катода и ионного разряда при соблюдении принципа короткого пути возможно даст прибор, управляемый помощью катодного поля.

Защита катода от распыления помощью электрического и магнитного полей. Кроме предложенного способа защиты катодов от распыления их ионной бомбардировкой помощью искривления электрического силового поля¹¹⁾ автором в 1928 г. предложен способ защиты катода помощью магнитного поля¹²⁾. В этом последнем случае магнитное поле различно действует на движущиеся частицы, обладающие различной массой. Задача конструкции электродов прибора заключается в том, чтобы магнитным полем разделить траектории ионов и электронов, направив их по определенным направлениям таким образом, чтобы ионы попадали в определенную часть поверхности катода (нагревая этим катод), а электроны испускались другой частью поверхности катода.

Преобразователь с парами ртути и магнитным управлением и управлением помощью двух сеток. Ввиду хороших эксплуатационных данных приборов, работающих с парами ртути (ртутный выпрямитель), являлась крайне заманчивой задача получения вполне управляемого разряда в парах ртути. Считаем интересным указать основные идеи, которые намечаются при разрешении этого вопроса. Прежде всего введение магнитного контроля казалось бы должно было дать надежный управляемый контроль. Трудность здесь та, что в парах ртути при тех давлениях, с какими приходится иметь дело в ртутном выпрямителе, длина свободного пути электрона меньше, чем это имеет место в приборах, работающих по принципу „короткого пути“. Во всяком случае, введение в ртутный разряд принципа короткого пути обещает богатые и широкие возможности. Для этого размер управляющего электрода (экрана либо сетки) и его расстояние от анода¹³⁾ должны быть одного порядка с длиной свободного пути электрона в парах ртути. На этом принципе построены и работают ионные управляемые приборы Любке (1930 г.).

В этом отношении высокая температура газа около анода будет благоприятно действовать, так как можно будет взять большие размеры и расстояния от управляющего электрода до анода, что конструктивно легче выполнить. Управляющему электроду придается такая форма, чтобы движению электронов сообщить такое направление, на котором можно удобно воздействовать магнитным полем и привести задачу к уже решенной в случае цилиндрических холодных электро-

дов с магнитным контролем. С этой целью анод окружен цилиндрической поверхностью сетки, в которой сделаны отверстия или прорезы вдоль по образующей цилиндра. Электроны и ионы вблизи анода подходят к нему, двигаясь по радиусам (рис. 30). Анод и сетка-экран помещены в аксиальное магнитное поле. На экран, кроме того, может даваться дополнительный потенциал. На рис. 31 дана несколько измененная кон-

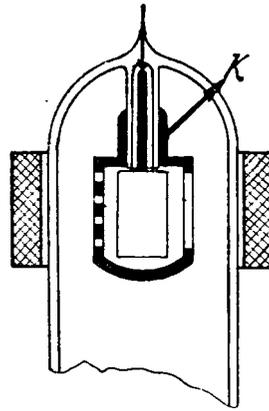


Рис. 30

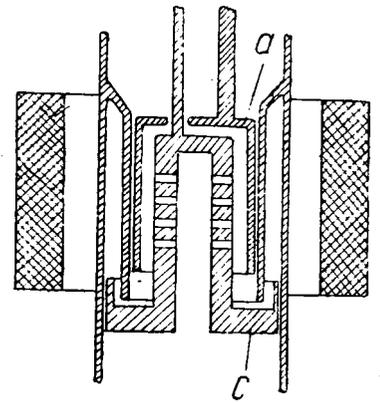


Рис. 31

струкция, при которой ионный ток к аноду из газового пространства подводится с его внутренней поверхности. Снаружи трубки расположено управляющее магнитное поле. На рис. 32 дана фотография пробной лабораторной модели указанной трубки, имеющей катод в виде раскаленного пятна на поверхности ртуты, электрод зажигания, один вспомогательный анод возбуждения (постоянное напряжение возбуждения), рабочий анод и управляющий электрод. Снаружи катушек магнитного поля имеется железный каркас-сердечник для увеличения магнитного аксиального поля управления.

Как показали предварительные опыты, магнитное поле вполне управляет разрядом при переменном напряжении (несколько киловольт) между катодом и анодом при свободном экране (не присоединенном ни к какой цепи, а находящемся под потенциалом газовой среды). В случае постоянного напряжения, приложенного между анодом и катодом, магнитное поле вызывает проводимость вполне устойчиво и надежно, но прекращение проводимости происходит неустойчиво (иногда проводимость прекращается, иногда она остается), если управляющий электрод свободен. Давая дополнительный потенциал на управляющий электрод, есть основание полагать, что может быть получена полная управляемость помощью магнитного поля, но этот вопрос в настоящее время еще находится в стадии исследования.

Введение переменного магнитного поля управления внутрь преобразователя в пространство около анода встречает известные трудности из-за размагничивающего действия токов Фуко в металлических стенках преобразователя. С этой целью возможна такая конструкция управляющего электрода экрана-сетки, когда

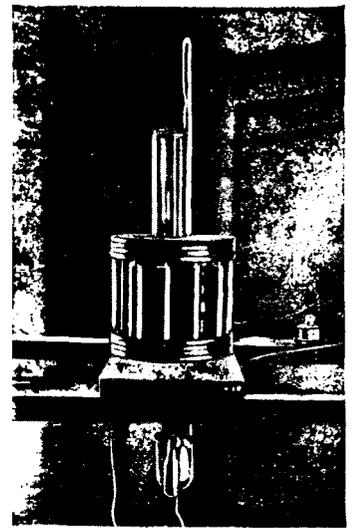


Рис. 32

¹¹⁾ М. Ситников, Авторские свидетельства № 15705 и 15706 от 16 апреля 1927 г.

¹²⁾ М. Ситников, Авторские свидетельства № 18362 от 9 мая 1928 г. и № 16628 от 5 октября 1927 г.

¹³⁾ М. Ситников, Авторское свидетельство № 17403 от 4 апреля 1927 г.

он выполнен в виде ряда витков, по которым проходит значительной силы ток, который и создает требуемое магнитное поле управления.

Идея в этом же направлении получения вполне управляемого разряда, в условиях ртутного выпрямителя намечается применение двух сеток управления. Предполагается, что при соответствующей схеме включения¹⁴⁾ двух сеток одна из них будет задерживать ионы одного знака, а другая — ионы другого знака, и в результате в пространстве между сетками произойдет желаемый разрыв тока. И в этом случае длина свободного пути электронов и ионов, и расстояние, и размеры сеток должны находиться в определенном соотношении.

Области применения ионных управляемых приборов — исключительно разнообразные как с точки зре-

ния разрешения технических задач, так и различных отраслей народнохозяйственной жизни страны.

Возможность умножения частоты помощью ионного преобразователя с магнитным контролем открывает широкую область применения для металлургической промышленности в виде мощных преобразовательных установок для питания электропечей повышенной частоты (200 ÷ 1 000 Hz и выше).

В настоящее время, когда ионные преобразователи не получили еще законченного технического оформления, трудно говорить о всех возможных областях применения.

Необходима исключительно настойчивая работа в области оформления ионных преобразователей в законченный технический прибор.

25/II—1934 г.

БОРЬБА С АВАРИЯМИ

Определение мест повреждений при авариях в кабельной сети

Инж. Ф. В. Майоров
Москва, ВЭИ

§ 1. Введение

Вопрос об определении места повреждения при ликвидации аварий в кабельной сети имеет первостепенное значение не только потому, что это дает большую экономию средств при ремонте линии, но часто своевременное и быстрое включение поврежденной линии предотвращает новые аварии, могущие произойти из-за перегрузки соседних кабелей.

В качестве примера можно привести одну из крупных аварий в кабельной сети Мосэнерго на линии Фили — Москва в ноябре 1932 г. В начале аварии из пяти кабелей был поврежден лишь один, и его нагрузка была распределена на оставшиеся кабели, которые могли выдержать кратковременную перегрузку их. Так как поврежденный кабель не был своевременно исправлен (ввиду неизвестности места повреждения), то через несколько часов произошла новая авария, в результате которой все пять кабелей были повреждены и выключены. Таким образом место повреждения в кабельной линии должно определяться в возможно короткий срок и наиболее точно.

Ошибка в определении места повреждения приводит к порче кабеля в здоровом месте, разрытию на сравнительно большом расстоянии улиц и тротуаров, в результате чего задерживаются ремонт и включение линии.

Важность этого вопроса при ликвидации аварий в электросети сделала необходимой разработку аппаратуры для точного определения места повреждения кабеля в самых разнообразных случаях аварий.

В измерительном отделе ВЭИ разработана для аварийной службы электросети Мосэнерго новая аппаратура и методы для определения мест повреждений в кабельной линии. Полученные методы могут быть с успехом применены и для воздушных линий электропередачи.

Ликвидация повреждения в кабеле предполагает следующие четыре операции:

- 1) определение характера повреждения в результате аварии (заземление, обрыв, трехфазное короткое и т. д.).
- 2) обработка кабеля прожиганием изоляции поврежденного места для возможности определения места повреждения;

- 3) определение места повреждения измерением с обоих концов кабеля;
- 4) нахождение поврежденного места на самом кабеле и ремонт линии.

Первая из перечисленных операций не представляет никаких затруднений и выполняется с помощью индуктора или меггера с напряжением 1 000 ÷ 2 500 V. Что касается второй операции — „прожигания“ кабеля, то она представляет на практике наибольшие затруднения, требуя большой громоздкой аппаратуры и большой мощности (от 70 до 250 kVA) при прожигании на переменном токе. Помимо этого процесс прожигания обычно требует много времени, что сильно задерживает локализацию повреждения.

Автором этой статьи в настоящее время разработана схема газотронной установки для „прожигания“ дефектного места в кабеле совместным и одновременным применением высокого и низкого напряжений небольшой мощности. Результаты этой работы будут опубликованы в ближайшем будущем.

Методы определения мест повреждений должны охватывать возможно более разнообразные случаи аварий, и в этом смысле выпускаемая иностранными фирмами измерительная аппаратура во многих случаях оказывается непригодной для определения места повреждения.

Общеизвестные методы неприменимы, например, для случаев трехфазного обрыва с заземлением и трехфазного короткого. Даже для обычных повреждений с заземлением одной фазы мостик Уитстона дает большие ошибки ввиду непригодности его для измерения малых сопротивлений силового кабеля.

В табл. 1 приведены различные случаи повреждений в кабеле и методы ликвидации этих повреждений.

Из этой таблицы повреждений следует, что лишь в немногих случаях необходимо предварительное прожигание кабеля. Эти случаи следующие:

- 1) трехфазное заземление и заземление при неустойчивом сопротивлении;
- 2) обрыв жилы с заземлением ее на сопротивлении, близком к волновому сопротивлению кабеля (примерно 50 Ω).

Вологодская областная универсальная научная библиотека

Таблица 1
Методы определения мест повреждений в кабеле

Характер повреждения	Определение места повреждения	Примечание
А. Повреждение без обрыва жил		
1. Заземление жилы при одной незаземленной и малых переходных сопротивлений	Мостиком Томсона (без прожигания)	
2. Трехфазное заземление с примерно одинаковыми переходными сопротивлениями на землю	Мостиком Томсона с предварительным прожиганием	
3. Заземление жил при одной незаземленной и больших переходных сопротивлениях	Высоковольтным мостиком Томсона-Уитстона (без прожигания)	Прожигание необходимо при неустойчивом сопротивлении
4. Трехфазное короткое с заземлением	Мостиком для измерения самоиндукций (без прожигания) мостиком Хивисайда-Кемпбелла или Оуэна	
Б. Повреждения с обрывом жил		
1. Обрыв одной, двух или трех фаз с одновременным заземлением их на сопротивление, большее 500 Ω	Метод измерения емкости с параллельным сопротивлением (мостик Вина, без прожигания)	
2. Обрыв фаз с заземлением их на сопротивление меньше 500 Ω	Мостик Вина или Хивисайда-Кемпбелла с предварительным прожиганием	
3. Трехфазное короткое с обрывом жил	Мостик Хивисайда-Кемпбелла или Оуэна	

самоиндукция должны быть измерены с точностью до четвертого знака.

Однако это не гарантирует такой же точности в определении места повреждения по следующим причинам:

1) измеряемая емкость и самоиндукция линии зависят от величины переходного сопротивления в месте повреждения;

2) равномерное распределение постоянных L и C (особенно емкости) линии в практических условиях может нарушаться.

Например, измеряемый кабель часто состоит из неоднородных отрезков разных сечений и конструкций. Кроме того, несмотря на симметричность трехфазного кабеля емкости каждой жилы относительно земли различаются между собой на 0,5% и больше. Так, при одном измерении на кабеле 120 мм² длиной в 1057 м нами получены следующие данные:

емкость фазы А 0,3393 μF,
 " " В 0,3384 μF,
 " " С 0,3405 μF

и максимальное значение разницы в емкостях отдельных фаз равно 0,6%.

Вообще измеряемая емкость жилы кабеля относительно земли зависит от того, при каких потенциалах находятся остальные жилы, а также в случае обрыва жил на измеряемую емкость оборванной жилы с од-

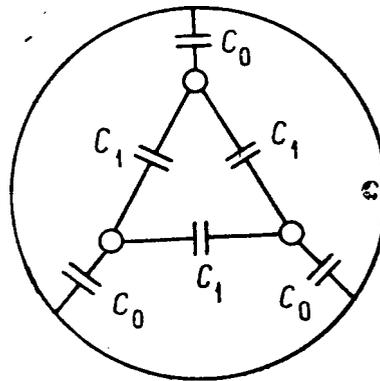


Рис. 1

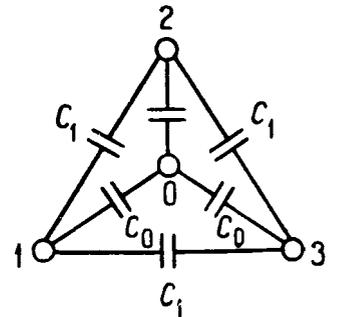


Рис. 2

ного конца оказывает влияние емкость оборванного другого конца.

Здесь необходимо рассмотреть измеряемую емкость в кабеле при обрыве как функцию частичных емкостей C_0 и C_1 (рис. 1) кабеля, где C_0 — частичная емкость жилы относительно земли, а C_1 — частичная емкость между жилами кабеля. Из рассмотрения рис. 1 и 2 можно подсчитать измеряемую величину емкости через C_0 и C_1 . В табл. 2 приведена величина измеряемой емкости для различных случаев измерения.

Таблица 2
Емкость трехфазного кабеля для различных случаев измерений

Измеряемая емкость	Ее величина (в частичных емкостях кабеля)
1. Фаза-земля (две других фазы не заземлены)	$C_0 + \frac{2C_0C_1}{C_0 + C_1}$
2. Фаза-земля (две другие заземлены)	$C_0 + 2C_1$
3. Емкость двух фаз относительно земли (3-я фаза не заземлена)	$2C_0 + \frac{2C_1C_0}{C_0 + 2C_1}$
4. Емкость двух фаз относительно земли (3-я фаза заземлена)	$2C_0 + 2C_1$
5. Емкость трех фаз относительно земли	$3C_0$
6. Емкость между двумя фазами (все фазы не заземлены)	$\frac{3C_1}{2} + \frac{C_0}{2}$
7. Емкость между двумя фазами при двух	

Все это легко может быть выполнено с помощью газотронной установки с мощностью не более 3÷5 kW и напряжением до 3 kV (для кабелей на 6 kV).

Из той же таблицы следует также, что повреждения без обрыва определяются мостовыми методами постоянного тока; обрывы же трехфазные короткие — исключительно мостиками переменного тока, что и составляет предмет настоящей статьи.

§ 2. Теория метода

Определение места повреждения основано на предположении равномерной распределенности постоянных линий и, следовательно, пропорциональности их длине кабеля. Для проложенного кабеля с сечением 120 мм² на 6,6 kV мы измерили следующие постоянные при частоте 800 Hz:

- 1) емкость 0,32 μF/km (фаза-земля),
- 2) самоиндукция (петля-фаза-фаза) 345μ H/km, } (1)
- 3) сопротивление жилы 0,145 Ω/km.

Для практических целей необходимо, чтобы ошибка в определении места повреждения не превышала 0,5%.

В случае обрыва жилы измеряемая емкость одного из оборванных концов будет зависеть от того, заземлен ли второй оборванный конец жилы или нет.

В самом деле, в первом случае мы измерим емкость (рис. 3)

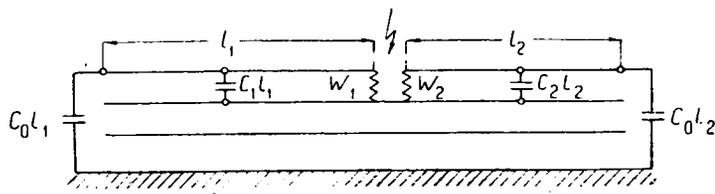


Рис. 3

$$C_x' = (C_0 + 2C_1)l_1 + \frac{2C_1l_2}{\frac{l}{l_1} + \frac{C_1}{C_0}} \quad (2a)$$

и при измерении с другого конца получим

$$C_x'' = (C_0 + 2C_1)l_2 + \frac{2C_1l_1}{\frac{l}{l_2} + \frac{C_1}{C_0}} \quad (2b)$$

т. е. отношение емкостей $\frac{C_x''}{C_x'}$ не равно отношению $\frac{l_1}{l_2}$.

В другом случае при заземлении второго из оборванных концов (и всех остальных заземленных жил) мы получим:

$$C_x' = (C_0 + 2C_1)l_1$$

и

$$C_x'' = (C_0 + 2C_1)l_2,$$

т. е. отношение

$$\frac{C_x''}{C_x'} = \frac{l_1}{l_2}.$$

Отсюда следует, что для более точного определения места обрыва жилы для остальных жилы и второй из оборванных концов необходимо заземлять.

Из табл. 2 следует, что величину частичных емкостей C_0 и C_1 для данного кабеля можно определить из двух любых измерений. Так как емкость зависит от диэлектрического коэффициента изоляции кабеля, который изменяется в зависимости от различных физических условий (температура и т. д.) в довольно широких пределах, то лучше для данного кабеля определять величину отношения $\frac{C_0}{C_1}$, которое зависит только от конструкции кабеля и не зависит ни от каких других условий. Знание же величины $\frac{C_0}{C_1}$, как

будет показано дальше, весьма полезно как для проверки полученных результатов, так и для определения места повреждения в некоторых особых случаях. Заметим еще, что это отношение можно ориентировочно подсчитать из конструктивных размеров кабеля.

В некоторых случаях аварий мы располагаем возможностью измерения обрыва жилы только с одного конца. В таких случаях место повреждения находят обычно по удельной емкости. Необходимо заметить, что такой способ приводит к большим ошибкам, так как удельная емкость изменяется со временем и находится в зависимости от физических условий даже для одного и того же кабеля. Так, например, для одного кабеля сечением в 120 мм² в разное время года определились следующие величины "удельных" емкостей: 0,324, 0,328 и 0,319 μF/km. Для различных же кабелей

Поэтому точное определение места повреждения с обрывом жил возможно лишь при измерении емкости одной и той же жилы с обоих концов кабеля и при заземленных остальных.

Рассмотрим теперь зависимость измеряемой емкости или самоиндукции от величины переходного сопротивления в месте повреждения.

Введем следующие обозначения:

R, L, C, g — постоянные линии (R — омическое сопротивление, L — самоиндукция на километр, C — емкость и g — проводимость изоляции);

Z_1 — измеряемый импеданс в начале линии;

Z_r — импеданс в месте повреждения (если

рассматривать его как $Z_r = W + \frac{1}{j\omega C_2}$,

где C_2 — емкость линии второго конца от места повреждения, а W — переходное сопротивление);

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{g + j\omega C}} \text{ — волновое сопротивление линии; } \quad (3)$$

$$v = \sqrt{(R + j\omega L)(g + j\omega C)}; \quad (4)$$

C_l — емкость линии длиной l ;

R_1, L_1, C_1, g_1 и R_2, L_2, C_2, g_2 — сопротивление, самоиндукция, емкость и утечка отрезка линии длиной l_1 или l_2 .

Как известно из теории линий, для измеряемого импеданса можно написать¹⁾:

$$Z_1 = Z_0 \frac{Z_0 \operatorname{th} v l + Z_r}{Z_0 + Z_r \operatorname{th} v l_1} \quad (5)$$

Определим величину гиперболического тангенса $Z_0 \operatorname{th} v l_1$ и $\frac{1}{Z_0} \operatorname{th} v l_1$. Так как длина кабельной линии обычно не превышает 5–10 км, то с большой степенью приближения можем считать, что для нее:

1) при коротком замыкании линии импеданс

$$Z_1 = (R + j\omega L) l_1$$

и, следовательно, из формулы (5), полагая $Z_r = 0$, имеем

$$Z_0 \operatorname{th} v l_1 = (R + j\omega L) l_1; \quad (6)$$

2) при холостой нагрузке линии ($Z_r = \infty$) имеем

$$\frac{1}{Z_0} \operatorname{th} v l_1 = (g + j\omega C_1) l_1. \quad (7)$$

Подставляя значения $\operatorname{th} v l_1$ из уравнений (6) и (7) в формулу (5) и принимая во внимание формулу (4), получим

$$Z_1 = \frac{1 + \left(\frac{1}{W} + j\omega C_2\right)(R_1 + j\omega L_1)}{\frac{1}{W} + j\omega C_2 + g_1 + j\omega C_1} \quad (8)$$

Исходя из формулы (8), рассмотрим два случая.

Случай 1. Короткое замыкание линии на сопротивлении — порядка 10–20 Ω. В этом случае в формуле (8) можем положить $g_1 = 0$ (пренебрегая проводимостью изоляции g_1 по сравнению с W).

Разделяя действительную и мнимую части в уравнении (8), получим

$$Z_1 = \frac{W + R_1 + \omega^2 L_1 W (C_1 + C_2) + \omega^2 C_1 C_2 R_1 W^2}{1 + \omega^2 C_1^2 W^2} + j \frac{L_1 (1 + \omega^2 C_1 C_2 W^2) - W (C_1 W + C_1 R_1)}{1 + \omega^2 C_1^2 W^2} \quad (9)$$

Пренебрегая малыми величинами и полагая W порядка $10 \div 20 \Omega$, $\omega = 5000$, C_1 и C_2 — порядка $10^{-7} \mu F$ и сопротивление линий R до 10Ω , получим

$$Z_1 = W + R_1 + j\omega [L_1 - W(C_1 W + C_1 R_1)]. \quad (10)$$

Измерением со второго конца линии получим

$$Z_2 = W + R_2 + j\omega [L_2 - W(C_2 W + C_2 R_2)]. \quad (10a)$$

При измерении импеданца для цели определения места повреждения нас интересует только безваттная индуктивная составляющая, пропорциональная при некоторых условиях длине линии. Обозначим результат измерения индуктивной составляющей с конца 1 через Y_1 и с конца 2 через Y_2 ; тогда

$$\left. \begin{aligned} Y_1 - Y_2 &= L_1 - L_2 + CRW(l_1^2 - l_2^2), \\ L_1 + L_2 &= Ll. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Из формул (11) получаем окончательно

$$l_1 = \frac{Y_1 - Y_2 + l \left(1 + \frac{RWl}{Z_0^2}\right)}{2 \left(1 + \frac{RWl}{Z_0^2}\right)}. \quad (12)$$

Если членом $\frac{RWl}{Z_0^2}$ можно пренебречь по сравнению с единицей, то

$$l_1 = \frac{Y_1 - Y_2 + Ll}{2}. \quad (12a)$$

Таким образом мы видим, что, зная характеристики линии R , L и C , можно измерением импеданца с двух концов линии определить место повреждения с желаемой степенью точности.

Ошибка в определении места повреждения может быть лишь по причине неизвестного значения C для данного кабеля, но эта ошибка будет незначительна при указанном методе подсчета.

Случай 2. Обрыв линии с заземлением жилы кабеля на переходное сопротивление. Полагая в формуле (8) для этого случая $C_2 = 0$ и пренебрегая утечкой линии g_1 по сравнению с проводимостью переходного сопротивления W , получим

$$\frac{1}{Z_1} = \frac{\left(1 + \frac{R_1}{W}\right) \frac{1}{W} + \omega^2 C_1 L_1 \frac{1}{W}}{\left(1 + \frac{R_1}{W}\right)^2 + \omega^2 L_1^2 \frac{1}{W^2}} + j\omega \frac{C_1 \left(1 + \frac{R_1}{W}\right) - \frac{L_1}{W^2}}{\left(1 + \frac{R_1}{W}\right)^2 + \omega^2 L_1 \frac{1}{W^2}}. \quad (13)$$

Полагая W не менее 100Ω и пренебрегая R_1 по сравнению с W , получим из (13) после преобразования

$$\frac{1}{Z_1} = \frac{1 + \omega^2 C_1 L_1}{W} + j\omega C_1 \frac{1 - \frac{Z_0^2}{W^2}}{1 + \left(\frac{\omega L_1}{W}\right)^2}. \quad (14)$$

Коэффициент

$$k_c = \frac{1 + \left(\frac{\omega L_1}{W}\right)^2}{1 - \left(\frac{Z_0}{W}\right)^2} = \frac{Cl}{C_1} \quad (15)$$

Таким образом, для того чтобы получить действительную емкость кабеля $C_1 = Cl_1$, мы должны измеренную емкость C_x умножить на некоторый коэффициент k_c , определяемый формулой (15), так что

$$C_1 = Cl_1 = C_x k_c. \quad (16)$$

Коэффициент k_c во многих случаях можно написать в более простом виде:

$$k_c = \frac{1}{1 - \left(\frac{Z_0}{W}\right)^2}, \quad (17)$$

т. е. когда $\left(\frac{\omega L_1}{W}\right)^2$ мало по сравнению с единицей.

В табл. 3 показаны вычисленные значения коэффициента k_c для кабеля сечением 120 mm^2 длиной в 1057 m с волновым сопротивлением $Z_0 \approx 50 \Omega$.

Таблица 3

Поправочный коэффициент k_c для измеряемой емкости C_x при переходных сопротивлениях от 100 до 5000 Ω

$\frac{W}{\Omega}$	k_c	$\frac{1}{k_c}$	Ошибка в процентах при измерении без поправки
100	1,34	0,25	25
200	1,02	0,937	6,3
300	1,03	0,972	2,8
400	1,012	0,984	1,6
500	1,010	0,990	1,0
750	1,0045	0,995	0,45
1000	1,0025	0,9975	0,25
5000	—	—	—

В табл. 4 приведены сравнительные данные для измеряемой самоиндукции L_x в сравнении с действительной самоиндукцией линии $L_1 = Ll_1$ для кабеля сечением 120 mm^2 и длиной 1 km , у которого $L = 345 \mu \text{ H/km}$, $C \approx 0,32 \mu \text{ F/km}$.

Таблица 4

Измеряемая индуктивность линии при различных значениях переходного сопротивления

$\frac{W}{\Omega}$	Ошибка $\mu \text{ H}$	Относительная ошибка %
1	0,3	0,1
3	3,1	0,5
5	8	2,6
10	32	9,3
14	63	18,3
18	104	30,2
20	128	37,2
25	200	58
30	288	89

Необходимо заметить, что полученные нами формулы для измеряемого импеданца линии пригодны лишь при сравнительно небольших длинах кабеля (примерно до 5 km). При большой длине кабеля, в особенности же при измерениях с генератором тональной частоты, необходимо пользоваться более точными формулами для расчета самоиндукции и емкости линии. Действительно, в формуле (5) мы положили, что

$$\text{th } \nu l_1 = \nu, \quad (18)$$

в то время как разлагая гиперболический тангенс в ряд, можем написать

$$\text{th } \nu l_1 = \nu l_1 - \left(\frac{\nu l_1}{2}\right)^3 + \left[\frac{2}{15} (\nu l_1)^5 - \dots\right]. \quad (19)$$

Таблица 5

Коэффициент k_c при частоте 50 Hz

W	l = 1,63 km		l = 3,2 km		l = 8,0 km		l = 16,1 km		l = 24,0 km		l = 32,18 km	
	k_c	%	k_c	%	k_c	%	k_c	%	k_c	%	k_c	%
10 000	0,997	0,30	0,995	0,50	0,992	0,80	0,991	0,91	0,998	0,20	0,995	0,50
500	1,028	2,73	1,015	1,48	1,015	1,48	1,015	1,48	1,015	1,48	1,015	1,48
100	1,430	30,0	1,373	21,17	1,345	25,66	1,380	27,8	1,385	27,8	1,39	28,06
50	—	—	—	—	—	—	—	—	30,5	96,72	11,00	90,91

Таблица 6

Коэффициент k_c для частоты 800 Hz

W	l = 1,63 km		l = 8,06 km		l = 16,1 km		l = 24,16 km		l = 32,26 km	
	k_c	%	k_c	%	k_c	%	k_c	%	k_c	%
—	1,00	0,00	0,976	2,40	0,894	11,8	0,755	32,4	0,595	68,0
10 000	1,00	0,00	0,995	0,50	0,886	12,8	0,757	32,1	0,601	66,4
500	1,00	0,00	0,995	0,50	0,919	8,8	0,819	22,1	0,709	41,0
200	1,035	3,00	1,027	2,70	1,014	1,4	0,922	8,45	0,937	6,7
50	2,66	62,00	2,50	60,00	2,62	61,84	2,88	65,3	3,42	70,77

При частоте измерения $\omega = 5000$ (800 Hz) и длине l больше 5 km вторым членом пренебречь уже нельзя и необходимо принять

$$\operatorname{th} \nu l_1 = \nu l_1 - \frac{(\nu l_1)^3}{3}; \quad (20)$$

тогда формулу (5) можно написать в виде

$$Z_1 = \frac{Z_r + X_1 \left(1 - \frac{X_1 Y_1}{3}\right)}{1 + Z_r Y_1 \left(1 - \frac{X_1 Y_1}{3}\right)}, \quad (21)$$

где

$$X_1 = R_1 + j\omega L_1, \\ Y_1 = G_1 + j\omega C_1.$$

Если $Z_r = \infty$ (случай чистого обрыва жилы), то

$$\frac{1}{Z_1} = Y_1 \left(1 - \frac{X_1 Y_1}{3}\right). \quad (21a)$$

При $Z_r = 0$ (короткое между фазами)

$$Z_1 = X_1 \left(1 - \frac{X_1 Y_1}{3}\right). \quad (21b)$$

Формулы (21) вполне достаточны для вычисления измеряемого импеданса линии при кабелях большой длины. Так, например, для трехфазного кабеля сечением 120 mm^2 на 6,6 kV с постоянным $C = 0,32 \cdot 10^{-6} \text{ F}$, $L = 0,000345 \text{ H}$, $R = 0,145 \text{ }\Omega$ и $g = 1 \cdot 10^{-5} \text{ }\omega/\text{km}$ имеем: при длине кабеля 5 km и $Z_r = \infty$.

$$X_1 = 0,725 + j \cdot 8,625 \cdot 10^{-3}, \\ Y_1 = 5 \cdot 10^{-5} + j \cdot 8 \cdot 10^{-3},$$

$$\frac{1}{Z_1} = 6,7 \cdot 10^{-5} + j \cdot 8,184 = g_1 + j\omega C;$$

коэффициент

$$k_c = \frac{\omega C l}{\omega C_1} = \frac{8 \cdot 10^{-3}}{8,184 \cdot 10^{-3}} = 0,978,$$

т. е. измеряемая емкость отличается от истинной емкости линии на 2,2%; при длине кабеля 10 km

$$Y_1 = 2,422 \cdot 10^{-4} + j 1,75 \cdot 10^{-2} \frac{1}{Z_1} = \\ = 1 \cdot 10^{-4} + j 1,6 \cdot 10^{-2};$$

коэффициент

$$k_c = \frac{1,6 \cdot 10^{-2}}{1,75 \cdot 10^{-2}} = 0,914,$$

и измеряемая емкость отлична от действительной емкости линии на 9,4%.

Эти данные показывают, что при частоте в 800 Hz точное измерение возможно лишь при длине кабеля не более $3 \div 5 \text{ km}$.

При больших длинах линии вычисления значительно усложняются и при незнании характеристики линий определение места повреждения становится весьма приближенным. Поэтому в случае длинных кабельных линий измерения следует проводить с пониженной частотой, при которой ошибки будут во много раз меньше. В качестве сравнения приведем данные для значений коэффициента k_c при частоте 800 Hz и 56 Hz для различной длины линии и переходных сопротивлений до 50 Ω (табл. 5 и 6).

Эти данные²⁾ вычислены по точной формуле (5) с гиперболическими функциями.

При измерении индуктивности линии, как нами было показано формулой (12), нет необходимости употреблять поправочный коэффициент для самоиндукции, так как его влияние можно исключить измерением с двух концов линии. Даже в случае обрыва жил и короткого между тремя фазами с различными переходными сопротивлениями возможно употреблять формулу (12) для самоиндукции L_1 измеряемого образца кабеля в виде

$$L_1 = L l_1 - W C l_1 (W_1 + R_1) = L l_1 \left(1 - \frac{W_1^2 + R_1 W}{Z_0^2}\right),$$

$$L_2 = L l_2 - W C l_2 (W_2 + R_2) = L l_2 \left(1 - \frac{W_2^2 + R_2 W}{Z_0^2}\right),$$

где W_1 и W_2 — переходное сопротивление между жилами, измеренное с одного и с другого конца поврежденного кабеля.

Измерение импеданца линии при переходном сопротивлении больше $20 \div 30 \Omega$ без обрыва жил не может дать никаких результатов ввиду того, что переходное сопротивление весьма близко к волновому сопротивлению кабеля, равному $40 \div 50 \Omega$.

При значениях переходного сопротивления, равного волновому сопротивлению кабеля, мы будем иметь резонанс линии, при котором емкостная и индуктивная составляющие равны и противоположны по знаку и безваттная составляющая импеданца будет равна нулю.

При больших значениях переходного сопротивления между фазами без обрыва их определение места повреждений становится невозможным методами переменного тока, так как во всех таких случаях мы будем измерять емкость всей линии и положение места повреждения линии почти совершенно не будет влиять на результаты измерения.

Мы видели, что для получения возможно более точных результатов при определении места повреждения необходимо измерение импеданцев Z_1 и Z_2 с двух концов кабеля. В некоторых случаях практики измерение возможно лишь с одного конца линии. В таком случае приходится пользоваться километрическими характеристиками линий.

Необходимо иметь в виду, что эти характеристики зависят от частоты, при которой они определены. Для кабеля определенной марки и сечения характеристики лучше всего определять по измерениям при холостом ходе и коротком замыкании линии на длине кабеля не более $1 \div 2$ km.

Исходя из теоретических предпосылок настоящего параграфа, мы можем кратко сформулировать следующие выводы:

1. Измерением импеданца линии мостиками переменного тока можно определить место повреждения в случае обрыва любого числа фаз с одновременным заземлением их на сопротивления от 100Ω и сколь угодно больше.

2. Определение места повреждения возможно также в случае трехфазного короткого с переходными сопротивлениями между фазами от 0 до 20Ω как с обрывом, так и без обрыва жил и с любыми переходными сопротивлениями на землю.

3. Точное определение места повреждения со средней ошибкой в 0,5% и меньше возможно лишь при измерении с двух концов линии и с учетом поправок, зависящих от переходного сопротивления и длины линии, определяемых формулами (12), (17) и (21).

4. Для длины кабеля не более $3 \div 4$ km и переходных сопротивлений на землю при обрыве жил больше 1000Ω поправочные коэффициенты могут в расчет не приниматься.

5. Для получения необходимой точности и устранения влияний сети измерение импеданца нужно производить при тональной частоте и лишь для длинных кабелей можно понизить частоту измерения.

§ 3. Схемы измерений

Для измерения импеданца линии с ошибкой не более чем в 0,5% от измеряемой величины наиболее пригодными являются мостовые методы с тональной частотой питающего генератора. Как было выяснено в § 2, измеряемый импеданц при обрывах линии с заземлением имеет преимущественно емкостный характер, а при трехфазном коротком — индуктивный характер. В соответствии с этим нами избраны две схемы, наиболее пригодные для измерения емкости и само-

Первая схема—это емкостный мостик с параллельными сопротивлениями (рис. 4). Если C_0, R_0 —переменный магазин емкостей и сопротивлений, C_x —измеряемая емкость кабеля, R_x —общее сопротивление изоляции кабеля и места повреждения. R_1 и R_2 —два других плеча мостика, то

$$C_x : C_0 = R_1 : R_2 = R_0 : R_x. \quad (1)$$

Если соотношение $R_1 : R_2 = 1$, то имеем просто

$$C_x = C_0, R_x = R_0. \quad (2)$$

Для возможности измерения емкости кабеля при любых переходных сопротивлениях W на землю в схеме постоянно включено параллельно C_x сопротивление R_3

(рис. 5), равное $2000\text{—}4000 \Omega$, так что R_0 должно быть не более 4000Ω , и баланс мостика достигается при любых переходных сопротивлениях. Питание мостика необходимо производить генератором тональной частоты для получения достаточной чувствительности схемы, в особенности при обрыве с заземлением на переходное сопротивление, меньшее 1000Ω .

При измерении емкости оборванного и заземленного конца кабеля все остальные жилы, в том числе и другой конец оборванной жилы, должны быть заземлены (рис. 5). Переходные сопротивления W_1 и W_2 в месте

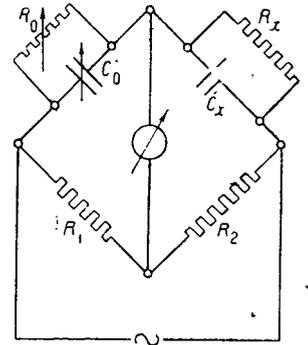


Рис. 4

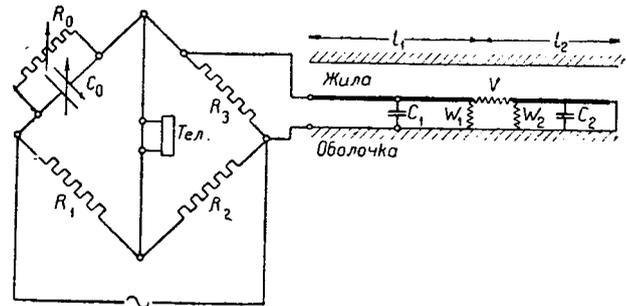


Рис. 5

повреждения не влияют на результат измерения, поскольку общее сопротивление K_x , включенное параллельно измеряемой емкости C_x , остается большим 500Ω . При этом желательно повышение частоты, если емкость кабеля и переходное сопротивление малы. Расстояние l_1 до места повреждения легко определить, измерив с двух концов емкости C_1 и C_2 оборванных концов одной и той же жилы. Тогда

$$l_1 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} l, \quad (2)$$

где l —длина трассы кабеля.

Перемена местами телефона и генератора или изменение включения фазы-земля нежелательно, так как это обычно приводит к большим шумам в телефоне от посторонних токов в земле. Основное же затруднение при измерении емкости кабеля с заземленной жилой заключается в изменении переходного сопротивления на землю в месте повреждения, вследствие чего нарушается баланс мостика, и для установления правильного минимума требуется более сложная регулировка. Такие затруднения при измерении встречаются обычно при малых переходных сопротивлениях на землю (меньших $500 \div 1000 \Omega$).

Кемпбелла (рис. 6) с переменной взаимоиנדукцией или схема Оуэна (рис. 7) с переменным магазином емкостей.

При выборе схемы для измерения индуктивности кабеля мы руководствовались требованием простоты регулировки и непосредственного отсчета без сколько-

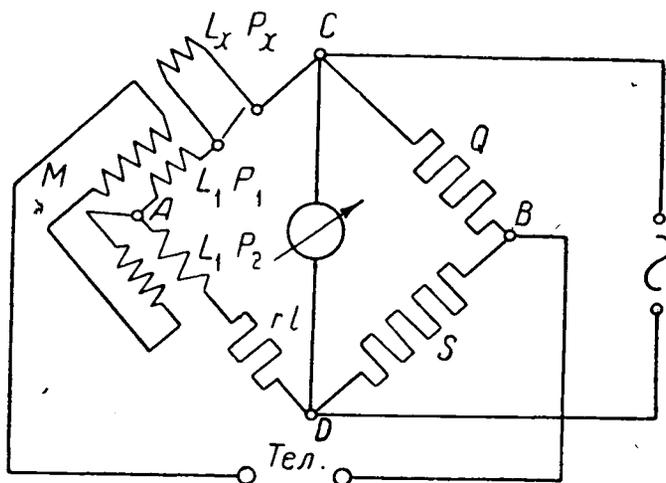


Рис. 6

нибудь длительных вычислений, что весьма существенно при работе в аварийных условиях. Ввиду малых значений самоиндукции кабеля (345 $\mu\text{H}/\text{km}$) измерение ее необходимо производить с безреактивным магазином и принимать целый ряд предосторожностей с целью устранения различных влияний на результат

измерения (симметрирующий трансформатор, экранирование и т. д.).

На рис. 6 представлен наиболее удобный вариант мостика Хивисайда-Кемпбелла. Здесь M — переменная взаимоиנדукция от 1 μH до 10 мН, L_x и P_x — самоиндукция и сопротивление измеряемого объекта (кабеля), L' , P' и L'' , P'' — самоиндукция и сопротивление первичной катушки взаимоиנדукции, разделенной в точке A пополам и подогнанной так, что

$L' = L''$, Q и S — равные между собою и безреактивные плечи моста по 10 или 100 Ω каждое; r — переменный безреактивный магазин сопротивлений до 100 Ω .

Регулируя сопротивление r и взаимоиנדукцию M сначала с замкнутым ключом K , а затем с разомкнутым, мы получим в первом случае отсчет сопротивления r_0 и взаимоиנדукции M_0 , а во втором r_1 и M_1 и, как известно,

$$\left. \begin{aligned} L_x &= 2(M_1 - M_0), \\ P_x &= r_1 - r_0. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Примененный здесь разностный отсчет позволяет избавиться от ряда ошибок, влияние которых не изменятся в течение процесса измерения.

В экспериментах мы применяли индуктометр с пределами от 1 до 10000 μH и подогнанный с точностью в 1 μH . Сопротивление двух половин его вторичных обмоток таково: $P' = 4,4$ и $P'' = 5,2 \Omega$.

При сопротивлениях от 10 до 100 Ω чувствительность моста составляла примерно 0,5 μH по шкале индуктометра, и измерения индуктивности в пределах

сильный шум и значительно искажало равновесие, в то время как заземление генератора сказалось вполне возможным, так как при измерениях на проложенном кабеле один конец измеряемой индуктивности должен быть заземлен, то точки присоединения к мосту телефона и генератора пришлось поменять местами. Эта мера на чувствительности не сказалась и позволила измерять заземленную индуктивность. Положение тела, работающего с мостом, относительно индуктометра оказывало влияние на отсчет M , главным образом, при измерении больших индуктивностей.

Влияние небольших кусков железа сказывалось лишь при приближении их к индуктометру вплотную. Так, например, трансформатор осветительного типа, первичная обмотка которого была подключена к сети в 120 В, 50 Гц уже на расстоянии в 20 см от индуктометра давал в телефоне заметный фон. При дальнейшем приближении трансформатора фон усиливался настолько, что измерять становилось невозможно. Таким образом наличие вблизи от места измерений больших силовых трансформаторов может значительно затруднить и исказить измерения.

Поэтому схема Оуэна (рис. 7) имеет значительные преимущества в смысле устранения внешних индуктивных влияний. Здесь C_2 и C_3 — постоянные эталонные емкости, P_2 и P_3 — потери в них в омах (последовательно с емкостью), R_1 и R_3 — переменные магазины сопротивлений, l_1 и l_3 — их остаточные самоиндукции, R_4 — постоянное эталонное сопротивление, l_4 — его самоиндукция, L_x — измеряемая самоиндукция и R_x — ее сопротивление.

Если пренебречь утечками в конденсаторах и остаточной самоиндукцией безреактивных сопротивлений, то условия равновесия для моста можно написать так:

$$\left. \begin{aligned} L_x &= C_2 R_4 (R_1 - R_1'), \\ R_x &= r_1 - r_1', \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

и

где R_1' и R_3' — отсчет по сопротивлениям R_1 и R_3 при замкнутом ключе K .

Но при измерении малых самоиндукций в 10–100 μH необходимо принимать во внимание остаточную самоиндукцию сопротивления R_3 . Для этого переменный магазин R_3 должен быть проградуирован так, что для каждого значения сопротивления R_3 известно значение самоиндукции l_3 , тогда

$$L_x = C_2 R_4 (R_1 - R_1') - (l_3 - l_3'). \quad (5)$$

Поправка $l_3 - l_3'$ обычно составляет десятые доли микрогенри и существенна лишь для индуктивностей порядка 100 μH .

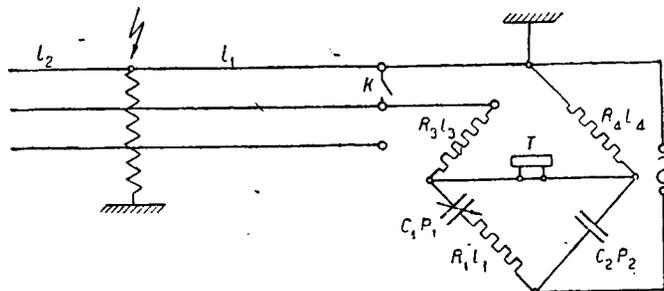


Рис. 8

Схема измерения самоиндукции при трехфазном коротком показана на рис. 8. Здесь необходимо иметь в виду, что длинные присоединительные провода вносят значительные искажения и поэтому нулевой отсчет на мостике необходимо производить при замкнутом ключе на самом кабеле (без подводных проводов). Схему необходимо экранировать, главным образом, от емкостных влияний как это подробно указано Ferguson'ом⁸⁾.

Мост Оуэна имеет еще то преимущество, что помощью простых переключений, как это выполнено в универсальном кабельном мостике ВЭИ, он может быть преобразован в емкостный мостик с параллельными сопротивлениями. Таким образом схема емкостного моста для обрывов с заземлением и моста Оуэна для трехфазных коротких наиболее просто позволяют измерять импеданс линии в самых разнообразных случаях повреждений.

Выпускаемые иностранными фирмами мостики для определения мест повреждений обычно ограничиваются лишь методами постоянного тока и применимы поэтому в весьма ограниченных случаях, как заземление жилы и чистый обрыв ее. Преимущество измерений импеданса линии заключается в возможности определения наиболее трудных случаев повреждений, какими считаются обрыв жилы с заземлением и трехфазное короткое.

§ 4. Волновые методы

Для определения мест повреждений в случае обрыва с заземлением и трехфазных коротких применимы также и волновые методы, основанные на том, что волна напряжения, бегущая по проводу, дает скачок в месте изменения сопротивления. Такие скачки напряжения получаются как на конце разомкнутой или замкнутой линии, так и в месте повреждения изоляции (неполный обрыв, заземление через сопротивление и т. д.). В настоящее время имеются два варианта волнового метода—метод ЛЭФИ⁴⁾ (проф. А. А. Чернышева), основанный на измерении длины волны собственных колебаний кабеля, и метод катодного осциллографа.

Определяя в методе ЛЭФИ длину волны λ собственных колебаний кабеля и зная удельную емкость C и скорость распространения v волны в кабеле, мы можем определить расстояние x до места повреждения по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \text{для короткозамкнутой линии} & - \operatorname{tg} kx = k \frac{C_1}{C}, \\ \text{для разомкнутой линии} & - C \operatorname{tg} kx = k \frac{C_1}{C}, \end{aligned} \right\} (1)$$

где $k = \frac{2\pi v}{\lambda}$, v — скорость света, C_1 — последовательно включенный с кабелем конденсатор.

В методе катодного осциллографа⁵⁾ снятие осциллограмм волны напряжения весьма просто и наглядно определяет место повреждения. Момент включения волны на кабель автоматически связан с моментом пуска катодного осциллографа, и на осциллограмме

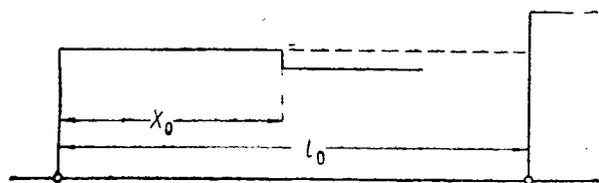


Рис. 9

получается амплитуда волны, которая остается неизменной до тех пор, пока отраженная от места повреждения волна не дойдет до начала и не изменит начальную амплитуду; зная расстояние l_0 скачка напряжения на осциллограмме здоровой жилы и зная длину жилы, мы имеем из осциллограммы

$$\frac{x}{l} = \frac{x_0}{l_0} \quad (2)$$

Таким образом сложная схема катодного осциллографа дает необычайно простой отчет.

Возможность применения обоих волновых методов зависит от величины скачка напряжения в месте повреждения, так как чувствительность обоих методов к этим скачкам весьма различна.

Скачок напряжения определяется в зависимости от рода повреждения следующими формулами (рис. 10):

$$\left. \begin{aligned} E' &= \frac{W_1}{W_1 + 2R_1} E, \\ \frac{E'}{E} &= 100 \frac{100 W_1}{W_1 + 2R_1}, \\ E_1 &= \frac{R_1 R_2 - W_1 (W_1 + R_2) E}{W_1 (R_1 + R_2 + W_1) + R_1 (W_1 + R_2)}, \\ \frac{E'}{E} 100 &= \frac{R_2 R_1 - W_1 (W_1 + R_2)}{R_1 (R_2 + W_1) + W_1 (R_1 + R_2 + W_1)}. \end{aligned} \right\} (3)$$

Из имеющихся⁶⁾ осциллограмм видно, что скачок напряжения в 1% на осциллограмме уже чувствуется. Соответствующее одному проценту соотношение $\frac{R}{W_1}$ найдем из формулы (3)

$$1 = \frac{100}{1 + 2 \frac{R_1}{W_1}}$$

или

$$\frac{R_1}{W_1} \approx 50 \Omega.$$

Таким образом метод катодного осциллографа приложим в том случае, если сопротивление заземления не превосходит больше чем в 50 раз волновое сопротивление жилы кабеля. Для сравнения выясним чувствительность метода ЛЭФИ по отношению к скачку напряжения в месте повреждения.

В табл. 7 приведены данные авторов метода ЛЭФИ с подсчитанной нами чувствительностью (рис. 10).

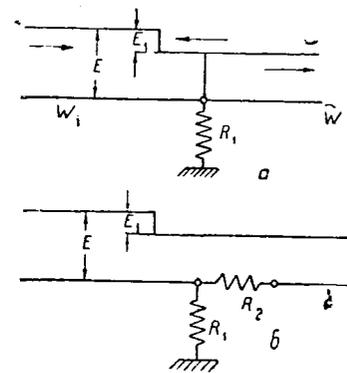


Рис. 10

Таблица 7

Чувствительность метода ЛЭФИ для определения мест повреждения в кабеле

Характер повреждения	R_1	R_2	x	Определить место повреждения	Точность	Скачок
Неполный обрыв с заземлением	200	200	149	Удалось	0,5%	+ 58%
	200	50	149	Удалось	0,5%	+ 33%
	200	10	396	Не удалось	—	— 6,5%
	200	0	—	·	—	— 6,5%
	100	200	—	Не удалось	—	+ 42,5%
	100	50	—	·	—	+ 19,0%
	100	10	—	·	—	— 1%
	100	0	—	·	—	— 1%
·	10	200	158	Удалось	3%	— 49%
	10	50	158	·	3%	— 52%
	10	10	158	·	3%	— 56%
	10	0	158	·	3%	— 58%
	10	—	—	Удалось	—	— 49%
	—	50	—	·	—	+ 97%
	·	·	·	·	·	·
	·	·	·	·	·	·

Эти данные показывали, что метод волномера применим в весьма ограниченных случаях, когда скачок напряжения в месте повреждения составляет не меньше 30% от амплитуды напряжения (против 1% в методе катодного осциллографа), т. е. когда порядок сопротивления заземления не больше, а порядок сопротивления обрыва не меньше порядка волнового сопротивления. В первом случае мы имеем фактическое короткое замыкание, во втором—разрыв. Для данных пределов сопротивлений вполне применим и дает во много раз большую точность метод измерения индуктивности и емкости кабеля.

Кроме того, при применении метода ЛЭФИ получается большая ошибка в определении места повреждения, от 2% до 8÷10% и более в зависимости от величины переходных сопротивлений. Добавочные ошибки возникают ввиду необходимости вводить в формулы удельную емкость C кабеля, как уже было нами указано в § 2 этой статьи. Таким образом метод измерения волномером собственных колебаний кабеля по сравнению с другими методами, в частности, с методом емкостного и индуктивного мостика, не имеет никаких преимуществ и даже, наоборот, дает большую ошибку в определении места повреждения и обладает громоздкостью аппаратуры, что делает его мало применимым в эксплуатационной практике.

Метод катодного осциллографа имеет значительно большую область применения, так как он позволяет определить место заземления жилы кабеля через сопротивление в 50 раз больше волнового сопротивления и место разрыва жилы при переходном сопротивлении в 50 раз меньшем волнового сопротивления, а также и различные комбинации этих повреждений.

Метод катодного осциллографа особенно хорош для быстрой ориентировки в характере и месте повреждения. Им можно пользоваться и без снятия осциллограмм, принимая катодные лучи на светящийся экран и делая на них отметки карандашом на точке начала волны, первого скачка и скачка волны, отражаемой от конца. Таким образом здесь имеется полная возможность заменить сложный и громоздкий катодный осциллограф более простым прибором с катодной трубкой.

Заключение

Вопрос о выборе типа аппаратуры для определения мест повреждения сводится, таким образом, к необ-

ходимости иметь универсальный кабельный мостик, позволяющий весьма простыми переключениями осуществлять следующие схемы:

- 1) мостик Томсона-Уитстона,
- 2) емкостный мостик с параллельными соединениями,
- 3) мостик Оуэна.

Этот комбинированный мостик даст возможность определить почти все случаи мест повреждений, включая так называемые „трудные случаи“, как обрыв фаз с заземлением и трехфазное короткое.

Методика определения мест повреждений, описанная в настоящей статье, позволяет устранить ошибки, возникающие при измерении благодаря наличию переходных сопротивлений в месте повреждения.

Сравнение других методов с мостовыми методами показывает, что они не имеют никаких преимуществ и обладают значительно меньшей точностью. Для нахождения места повреждения непосредственно на кабеле целесообразно применение разработанной нами аппаратуры по индукционному методу, устраняющее порчу и прожигание кабеля. Результаты настоящей работы показывают с очевидностью, что так называемое прожигание кабеля в большинстве случаев аварий можно устранить вообще. Опыт же применения разработанного нами универсального кабельного мостика в электросети Мосэнерго показал сравнительно высокую точность в определении мест повреждений, что дает нам основание ставить вопрос о широком применении его в эксплуатации.

Краткий перечень литературы по определению мест повреждений

1. „Journal of Inst. Electr. Eng“, август 1931 г., май 1932 г.
2. „Elektrizitätswirtschaft“, октябрь 1932 г.
3. „The Electrical Review“, 29 сентября 1933 г., 1926, vol. 99, стр. 295, 532.
4. „E. и M.“, май 1933 г., август 1933 г., Н. 32, 1932 г., Н. 18 1918 г.
5. „El. World“, май 1928 г., стр. 953, декабрь 1925 г., стр. 1297.
6. „RGE“, ноябрь 1924 г., декабрь 1924 г.
7. „The Electrician“, 1921, стр. 96, февраль 1928 г., стр. 130.
8. „Telephone Eng.“, декабрь 1928 г., стр. 40, октябрь 1931 г.
9. TFT, февраль 1931 г.
10. „Electro Journal“ 1926 г., стр. 72.
11. „ETZ“, февраль 1931 г., статья Röhrig
12. „Electric Light Power“ № 2, 1930, стр. 60.
13. „Electrical Times“, май 1929, стр. 706.
14. „Calliery guardian“, июнь 1928 г., стр. 2141.
15. „Американская техника“ № 2 и 3, 1933 г.
16. „Электричество“ № 22, 1931; № 6 и № 12, 1932; 13, 1933.

10/л—1934

ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ И СЕТИ

Гололедоустойчивая подвеска усиливающих проводов контактной сети

Инж. Н. Е. Иогансон

Отд. электрификации Ек. ж.д.

Сооружение контактной сети в районе, подверженном значительному воздействию гололедных отложений, впервые в Союзе осуществляется на участке Александровск—Никополь—Долгинцево Екатеринбургской ж. д.

Прочность элементов контактной сети согласно действующим нормам НКПС проверяется лишь в условиях безаварийной ее работы. В этом отношении нормы НКТП (ЦЭС, Главэнерго, „Нормы механического расчета воздушных линий сильного тока“, утвержденные в 1932 г.) являются более осторожными, требуя, как известно, обязательного расчета конструкций промежуточных опор линий сильного тока также и на случай обрыва двух проводов, если расчетная гололедная корка превышает 10 мм. Самый

что до известной степени компенсирует малую вероятность одновременного обрыва двух проводов в общем пролете.

Так как контактная сеть с 2÷4 усиливающими проводами, подвешенными на сетевых опорах, является скорее линией электропередачи, снабженной контактной подвеской, то обязательность расчета опор для гололедного района по аварийной схеме представляется нам совершенно необходимой. Необходимость эта подчеркивается большей технико-экономической значимостью 3-kV контактной сети, чем линии электропередачи такого же напряжения, рассчитываемой по аварийной схеме.

Несущий трос и контактный провод имеют благодаря наличию консоли достаточную подвижность то-

Таблица 1

Сопоставление стоимости укрепления усиливающих проводов на подвесных и штыревых изоляторах

I. Способы укрепления	А Подвесные изоляторы		Б Штыревые изоляторы		Примечание
	Наименование детали	Руб.	Наименование детали	Руб.	
II. Компоненты стоимости укрепления проводов	1. Подвесные проушины $\frac{3}{4}$ " для деревянной круглой консоли с гайками 1,0-2	2,0	1. Хомут к штыревому изолятору	3,5	Цены показаны применительно к заказам, принятым заводами в 1933 г.
	2. Шарнирный подвес из круглого железа $\frac{5}{8}$ " с отогнутыми концами		1,0	2. Фарфоровый штыревой изолятор ЦЭН	
	3. Серьга ВЭО	2,0	3. Штырь к изолятору с гайкой и шайбой	2,0	
	4. Подвесной тарельчатый изолятор	9,0			
	5. Двойное седло ЦЭН	3,5			
III. Стоимость укрепления двух проводов на консоли	100%	17,5	8,5-2 97%	17	Применение диэлектрических изоляторов удешевит случай А на 4-5 руб., не влияя на случай Б
IV. Стоимость консолей	1. Деревянная круглая с болтами $\frac{3}{4}$ " и шайбами около 100%	5,0	1. Железная с хомутом и гайками типа ЦЭН около 200%	10,0	Цены приблизительные

I. Способы укрепления	А Подвесные изоляторы		Б Штыревые изоляторы		Примечание
	Наименование детали	Руб.	Наименование детали	Руб.	
V. Стоимость укрепления двух проводов на опоре	17,5 + 5,0 100%	22,0	17,0 + 10,0 120%	27,0	Не учтен монтаж как более дорогой для случая Б
VI. Стоимость укрепления четырех проводов на опоре	17,5-2 + 5,0 100%	40,0	27-2 136%	54,0	То же

подвески провода; однако приводимые ниже подсчеты опровергают эти опасения (см. табл. 1). Попутно замечается железная консоль деревянной. Если диэлектрические изоляторы (предложенные инж. В. В. Петровским) найдут себе широкое применение в контактной сети, то денежное преимущество предлагаемой подвески увеличится. Кроме того, при подвесных изоляторах для несущего троса желательно для общности иметь такие же изоляторы для всех подвесок контактной сети вообще.

Изложенные соображения позволяют автору рекомендовать применение шарнирного подвеса в качестве одного из мероприятий в поисках гололедоустойчивых конструкций контактной сети, так как распространить общую конструкцию или методику конструирования контактных сетей и, в частности, их опор на всю сеть железных дорог Союза не представится возможным.

В заключение стоит напомнить, что Штеровско-Кадиевская 110-kV линия, выстроенная в 1927 г. по типу Шатурской линии Мосэнерго, показала необходимость применения в особо гололедных районах специфических конструкций, потребовав через пять лет в результате неудачной эксплуатации своего частичного демонтажа.

26/VIII—33 г.

К расчету фабрично-заводских кабельных силовых сетей трехфазного тока напряжением до 500 В

Инж. Х. М. Новик
Ленинград

Необходимость жесткой экономии цветных металлов, расход которых в кабельных сетях низкого напряжения весьма значителен, и одновременная необходимость создания такой сети, которая должна безукоризненно работать в эксплуатации, требуют от проектирующего данную сеть совершенно четких методов ее расчета. Однако весьма несложный по существу расчет фабрично-заводских кабельных сетей при напряжении до 500 В выполняется разными лицами по-разному, так как литературные указания по этому вопросу также различны.

Некоторые рассчитывают сеть на потерю напряжения, некоторые на потерю мощности, а некоторые на падение напряжения, допуская при этом во всех трех указанных случаях одинаковые проценты. При расчете на потерю напряжения многими не учитывается индуктивное сопротивление кабелей. Вовсе не учитывается увеличение омического сопротивления жил кабеля с повышением температуры их нагрева, который по ГОСТ 4634 доходит до 80° С; а в этом случае омическое сопротивление увеличивается примерно на 25% против номинального сопротивления, соответствующего 20° С. Все это в конечном итоге приводит к различным результатам, создавая в одном случае большие запасы в сечениях кабелей, а в другом случае недостаточное сечение и большие потери в них.

Нижеприводимые соображения об основных положениях расчета и о его методике имеют целью внести ясность в разбираемый вопрос и облегчить проектировщику весьма кропотливый и изобилующий цифрами расчет, сведя его в табличную форму, заполнение которой производится по известным данным о критических моментах

1. На какие потери должны рассчитываться фабрично-заводские силовые сети?

Считая известными физический смысл и определения трех значительных потерь обычно вводимых в расчет сетей, приведем лишь окончательные выражения для их вычисления и соотношения между ними (табл. 1).

В формулах приняты следующие обозначения:

k — коэффициент увеличения омического сопротивления кабеля с повышением температуры его нагрева,
 r — омическое сопротивление единицы длины кабеля при 20° С,
 x — индуктивное сопротивление единицы длины кабеля. Остальные — общеизвестны.

Анализ соотношения 4 (табл. 1) показывает, что при неизменном сечении падение напряжения в основном больше потери напряжения, и лишь в некотором диапазоне сравнительно мелких сечений при $\cos \varphi = 1$ и крупных сечений при $\cos \varphi < 1$ они приблизительно одинаковы. Если вести расчет по падению напряжения, допуская его такой же величины, как и потери напряжения, то сечения сети, очевидно, будут больше, чем при расчете на потерю напряжения. Это увеличение расхода цветных металлов, определяемое в среднем в 10-15% при $\cos \varphi = 0,8$, ничем не оправдывается, так как практически для правильной работы электроприемников, зависящей от абсолютной величины напряжения, подводимого к их зажимам, нас интересует только потеря напряжения.

Таким образом из двух факторов напряжения в основу расчета

Таблица 1

Расчетные формулы для потери напряжения, падения напряжения и потери мощности и соотношения между ними для сетей трехфазного тока

№ формул	Наименование	Обозначения	Расчетные формулы	
			с учетом индуктивного сопротивления кабеля	без учета индуктивного сопротивления кабеля
1	Потеря напряжения (%)	p_E	$\frac{173 \rho l l \cos \varphi \left(k + \frac{x}{r} \operatorname{tg} \varphi \right)}{qE}$	$\frac{173 \rho l k \cos \varphi}{qE}$
2	Падение напряжения (%)	p_e	$\frac{173 \rho l l \sqrt{k^2 + \left(\frac{x}{r} \right)^2}}{qE}$	$\frac{173 \rho l l}{qE}$
3	Потеря мощности (%)	p_P	$\frac{173 \rho l l k}{qE \cos \varphi}$	
4	Отношение падения к потере напряжения при $q = \text{const}$	$\frac{p_e}{p_E}$	$\frac{\sqrt{1 + \left(\frac{x}{kr} \right)^2}}{\cos \varphi \left(1 + \frac{x}{kr} \operatorname{tg} \varphi \right)}$	$\frac{1}{\cos \varphi}$
5	Отношение потерь мощности и напряжения при $q = \text{const}$	$\frac{p_P}{p_E}$	$\frac{1}{\cos^2 \varphi \left(1 + \frac{x}{kr} \operatorname{tg} \varphi \right)}$	$\frac{1}{\cos^2 \varphi}$
6	Отношение потерь напряжен. при учете x кабеля к потере без его учета	$\frac{p_E}{p_{E(x=0)}}$	$1 + \frac{x}{kr} \operatorname{tg} \varphi$	

Из соотношения 5 (табл. 1) также вытекает, что при $q = \text{const}$ потеря мощности в данном участке с сосредоточенной на конце нагрузкой больше потери напряжения, и лишь в случае безиндукционной нагрузки они равны друг другу. Наиболее резко это увеличение потери мощности по сравнению с потерей напряжения получается в кабелях сечением до 50 мм², имеющих небольшое отношение $\frac{x}{r}$. Совершенно очевидно, что, рассчитывая сеть по потере

мощности и принимая ее величину, как это указывается многими литературными источниками, одинаковой с величиной потери напряжения, мы и в данном случае идем на неоправдываемый практически перерасход цветных металлов. Потеря мощности нас интересует при расчете сетей на экономичность, что обычно выполняется при длинных линиях и не имеет особого значения в сравнительно коротких фабрично-заводских сетях. Для них вполне достаточен расчет на потерю напряжения, обеспечивающий правильную работу электроприемников. Отсюда заключаем, что из разбираемых двух значений потерь исходной величиной в расчетах фабрично-заводских сетей является только потеря напряжения.

Величина этих потерь должна определяться с учетом индуктивного сопротивления, а омическое сопротивление проводников сети должно соответствовать температуре их нагрева.

Учет этих двух составляющих увеличивает потерю напряжения, что (см. формулу 1 табл. 1) выражается коэффициентом $k_\varphi = k + \frac{x}{r} \operatorname{tg} \varphi$, имеющим тем большее значение, чем больше нагрузка сети, чем больше сечение кабелей и чем меньше коэффициент мощности.

Коэффициент k_φ колеблется в зависимости от этих переменных в пределах от 1 до 1,6 ÷ 1,8, и пренебрежение им, конечно, недопустимо. Только лишь для кабелей сечением до 10 мм² можно не считаться с их индуктивным сопротивлением, учет же увеличения омического сопротивления с повышением температуры проводников, а тем более кабелей, обязателен во всех случаях.

2. Расчет сечения кабелей на потерю напряжения по методу критических моментов

Фабрично-заводские силовые сети обычно выполняются по радиальной системе с перестраховочными переключателями между теми распределительными пунктами, которые установлены в наиболее ответственных участках производства. Расчет сети сводится обычно к выбору сечения кабелей по допустимой нагрузке с последующей

питанием и с сосредоточенной нагрузкой на конце участка, для чего необходимо пользоваться формулой

$$p_E = \frac{173 \rho l l \cos \varphi \left(k + \frac{x}{r} \operatorname{tg} \varphi \right)}{qE} \tag{7}$$

Для облегчения весьма кропотливых подсчетов по этой формуле отделом рационализации Электропрома ВЭО составлены номограммы для определения потери напряжения с учетом реактивного сопротивления при заданных q, l, ρ и $\cos \varphi$ (k не учитывается).

Однако даже пользование последними номограммами, не говоря уже о пользовании вышеприведенной формулой, также весьма кропотливо и весьма неудобно как по числу операций составными элементами номограмм, так и по их размерам; к тому же недоучет в этих номограммах коэффициента k ведет к увеличению погрешности расчета сетей.

Гораздо проще выполнение расчета по методу критических моментов, к изложению которого мы и переходим.

Критическим моментом кабеля с сечением жил выбранного по допустимой нагрузке будем называть произведение из тока I , проходящего по жилам, и той критической длины кабеля l_k , при которой потеря напряжения в нем не превосходит заданной величины для заданного $\cos \varphi$. Этот критический момент определяется из следующего уравнения:

$$M_k = M_k = \frac{q p_E E}{173 \rho \cos \varphi \left(k + \frac{x}{r} \operatorname{tg} \varphi \right)} \tag{8}$$

Зная ток I , для которого выбрано сечение q , и длину l рассчитываемого участка сети, легко подсчитать расчетный момент тока M , и, сравнив его с критическим моментом M_k (данные об M_k см. ниже), можно сделать заключение о пригодности сечения кабеля, выбранного по плотности тока с точки зрения допустимой потери напряжения.

В случае если $M < M_k$, легко подсчитать действительную потерю напряжения по соотношению

$$p_{E0} = \frac{p_E M}{M_k} \tag{9}$$

где p_E — исходная величина потери напряжения.

Если же M окажется больше M_k , то необходимо выбрать новое сечение соответственно заданному $\cos \varphi$ и расчетному моменту тока, для которого $M_k \geq M$.

Таким образом все сводится к тому, чтобы иметь для всех сечений кабеля готовые значения M_k .

В правой части равенства (8) величины p_E, E и ρ могут быть приняты постоянными для данного напряжения и материала жил кабеля, и тогда формула (8) переписывается следующим образом:

$$M_k = C \frac{q}{\cos \varphi \left(k + \frac{x}{r} \operatorname{tg} \varphi \right)} \tag{8'}$$

Для решения этого равенства необходимо предварительно определить значения величин x, k и r .

Индуктивное сопротивление x кабелей данного сечения является величиной постоянной и для круглых жил определяется из равенства

$$x = 2\pi f \left(0,479 \lg \frac{2S}{d} + 0,052 \right) \cdot 10^2 \Omega/\text{km},$$

где S — расстояние между центрами жил (мм) и d — диаметр жилы (мм). Индуктивное сопротивление секторообразных жил на 5 ÷ 10% ниже.

Для кабелей с поясной изоляцией очевидно, что

$$S = d + 2\delta$$

(рис. 1), где δ — толщина изоляции каждой жилы; последняя величина приведена в табл. 3 ОСТ 4634, а диаметры кабельных жил получены автором непосредственно на заводе „Севкабель“ в Ленинграде.

По этим данным в табл. 2 приведены расчетные данные и индуктивные сопротивления трехжильных кабелей с изоляцией по ОСТ 4634 для напряжений в 1 000, 3 000, 6 000 и 10 000 В (данные для напряжений 3 000 ÷ 10 000 В приводятся попутно с непосредственно относящимися к этой статье данными для напряжений 1 000 В).

Коэффициент k зависит от полноты загрузки сечения кабеля по плотности тока и в общем исходном случае может быть определен для температуры нагрева жил кабелей на 1 000 В, допускаемой ОСТ, т. е. для $T = 80^\circ \text{C}$:

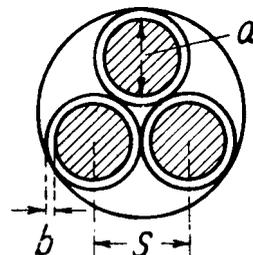


Рис. 1.

Таблица 2

Коэффициент самоиндукции и реактивное сопротивление трехжильных кабелей с поясной изоляцией (по ГОСТ 4634) с медными и алюминиевыми круглыми жилами

Сечен. одной жилы трехжильн. кабеля мм ²	Радиус голы жилы мм	1 000 V					3 000 V					6 000 V					10 000 V																													
		δ	S	lg $\frac{2S}{d}$	L	x	δ	S	lg $\frac{2S}{d}$	L	x	δ	S	lg $\frac{2S}{d}$	L	x	δ	S	lg $\frac{2S}{d}$	L	x																									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22																									
		М					е					д					ь																													
4	1,13	0,75	3,76	0,524	0,302	0,095	1,25	4,76	0,625	0,352	0,111	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																									
6	1,39	0,75	4,28	0,49	0,286	0,090	1,25	5,28	0,58	0,33	0,104	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																									
10	1,79	0,75	5,08	0,454	0,269	0,084	1,25	6,08	0,53	0,306	0,096	2	7,58	0,626	0,352	0,111	2,75	8,9	0,696	0,386	0,121																									
16	2,57	0,75	6,64	0,414	0,25	0,079	1,25	7,64	0,475	0,28	0,088	2	9,14	0,552	0,317	0,10	2,75	10,64	0,62	0,348	0,109																									
25	3,20	0,85	8,1	0,404	0,245	0,077	1,25	8,90	0,445	0,265	0,083	2	10,4	0,513	0,298	0,094	2,75	11,9	0,572	0,324	0,103																									
35	3,85	0,85	9,4	0,388	0,236	0,074	1,25	10,2	0,425	0,255	0,08	2	10,7	0,484	0,284	0,089	2,75	13,2	0,536	0,308	0,097																									
50	4,58	0,85	10,86	0,375	0,231	0,073	1,25	11,66	0,41	0,248	0,078	2	11,16	0,46	0,272	0,085	2,75	14,66	0,51	0,296	0,093																									
70	5,45	0,85	12,6	0,365	0,227	0,071	1,25	13,4	0,392	0,24	0,076	2	14,9	0,437	0,262	0,082	2,75	16,4	0,48	0,282	0,088																									
95	6,3	0,85	14,3	0,357	0,223	0,07	1,25	15,1	0,382	0,235	0,074	2	16,6	0,42	0,254	0,08	2,75	18,1	0,46	0,273	0,086																									
120	7,1	1	16,2	0,357	0,223	0,07	1,25	16,7	0,373	0,231	0,073	2	18,2	0,410	0,249	0,078	2,75	19,7	0,445	0,265	0,083																									
150	7,95	1	17,9	0,354	0,221	0,069	1,25	18,4	0,365	0,227	0,071	2	19,9	0,4	0,244	0,077	2,75	21,4	0,43	0,258	0,081																									
185	8,85	1,1	19,9	0,354	0,221	0,069	1,25	20,2	0,358	0,224	0,07	2	21,7	0,39	0,239	0,075	2,75	23,2	0,418	0,253	0,08																									
240	10,1	1,1	22,4	0,345	0,217	0,068	1,25	22,7	0,353	0,221	0,069	2	24,2	0,372	0,23	0,072	2,75	25,7	0,41	0,249	0,078																									
		А					л					ю					м					н					и					н					и					й				
75	5,6	0,85	12,9	0,365	0,227	0,071	1,25	13,7	0,39	0,237	0,074	2	15,2	0,435	0,26	0,082	2,75	16,7	0,475	0,280	0,088																									
105	6,65	1	15,3	0,363	0,225	0,071	1,25	15,8	0,376	0,232	0,073	2	17,3	0,416	0,252	0,079	2,75	18,8	0,452	0,268	0,084																									
143	7,75	1	17,5	0,355	0,222	0,07	1,25	18	0,366	0,227	0,071	2	19,5	0,403	0,245	0,077	2,75	21	0,433	0,26	0,082																									
180	8,7	1,1	19,6	0,353	0,221	0,069	1,25	19,9	0,36	0,225	0,07	2	21,4	0,392	0,240	0,075	2,75	22,9	0,42	0,253	0,08																									
225	9,75	1,1	21,7	0,348	0,218	0,068	1,25	22	0,355	0,222	0,069	2	23,5	0,383	0,236	0,074	2,75	25	0,41	0,249	0,078																									
278	10,8	1,1	23,8	0,345	0,217	0,068	1,25	24,1	0,35	0,22	0,069	2	25,6	0,375	0,232	0,073	2,75	27,1	0,402	0,245	0,077																									
360	12,3	1,25	27,1	0,343	0,216	0,068	1,25	27,1	0,343	0,216	0,068	2	28,6	0,367	0,228	0,072	2,75	30,1	0,39	0,239	0,075																									

L—коэффициент самоиндукции; x—индуктивное сопротивление одной фазы; δ и S—см. рис. 1.

где α—температурный коэффициент, практически одинаковый для меди и алюминия и равный 0,004.

Омическое сопротивление жил кабеля определяется по соответствующему удельному сопротивлению, которое для меди задано ГОСТ и равно $\rho_{ж} = 17,84 \text{ } \Omega/\text{km}$ (см. § 11 ГОСТ 4634), а для кабеля с алюминиевыми жилами по данным завода „Севкабель“ $\rho_{ал} = 29 \text{ } \Omega/\text{km}$.

По приведенным исходным данным величин, входящих в формулы (8) и (8'), в табл. 3 рассчитаны значения критических моментов M_k кабелей с медными и алюминиевыми жилами при различных значениях $\cos \varphi$ и для обычно применяемых напряжений силовых установок низкого напряжения 220, 380 и 500 V.

Кривые зависимости M_k от $\cos \varphi$ для кабелей с алюминиевыми жилами, изображенные на рис. 2, наглядно показывают, что для сечений свыше 278 мм² критический момент тока даже уменьшается с уменьшением $\cos \varphi$. В то же время, если критический момент тока определить, пренебрегая индуктивным сопротивлением кабеля, т. е. из выражения

$$M_k = C \frac{q}{\cos \varphi},$$

то величина его, наоборот, увеличится с уменьшением $\cos \varphi$.

Для сечений ниже 278 мм² также нет прямой зависимости между M_k и $\cos \varphi$; так, например, для кабеля $3 \times 75 \text{ мм}^2$ при $\cos \varphi = 0,7$ и при напряжении $3 \times 220 \text{ V}$ имеем по таблице или по кривым $M_k = 9950$, а по последней формуле мы получили бы, что $M_k = 11300$, тогда ошибка в сторону преуменьшения потери напряжения [см. формулу (9)] составила бы 12,5%. Все это ясно доказывает необходимость учета индуктивного сопротивления кабелей, что и выполнено в подсчетах табл. 3.

Пользуясь данными табл. 3 покажем на следующем примере. Требуется рассчитать участок трехфазной кабельной сети длиной $l = 80 \text{ m}$, по которому должен проходить ток $I = 165 \text{ A}$ при $\cos \varphi = 0,78$; максимально допустимая потеря напряжения $p_E = 3\%$ от напряжения $E = 380 \text{ V}$.

Учитывая коэффициентом 0,75 (см. табл. 14 ГОСТ) условия прокладки кабеля, находим по табл. 9 ГОСТ допустимое сечение его по плотности тока $q = 50 \text{ мм}^2$. Для этого сечения по табл. 3 находим критический момент $M_k = 17200$ при $p_E = 3\%$. Расчетный момент тока $M = 165 \cdot 80 = 13200$; а следовательно, выбранное сечение по плотности тока удовлетворяет также и условиям допустимой величины потери напряжения.

Последняя составит не 3%, а величину меньшую и найдется из соотношения (9):

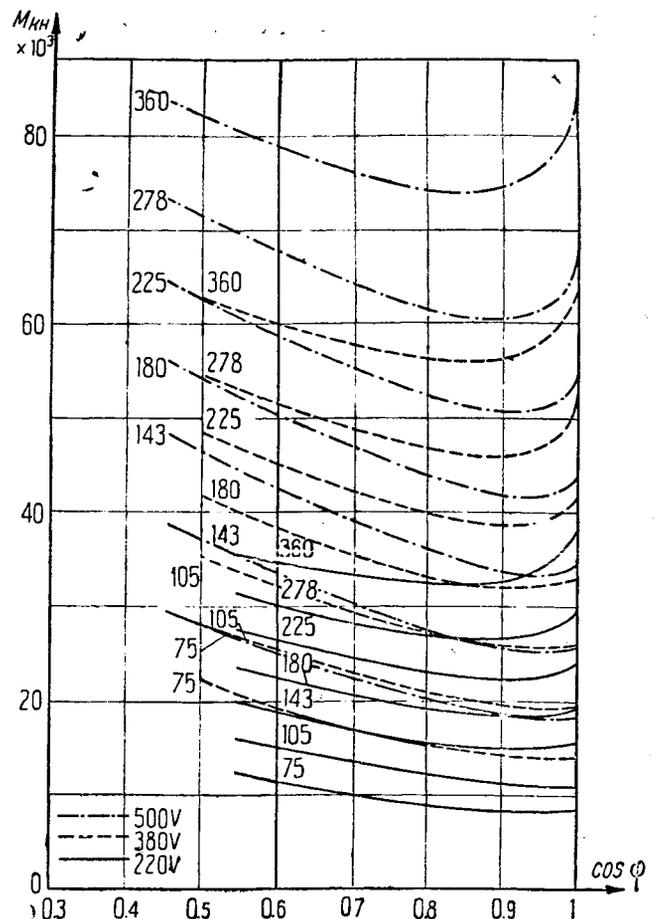


Рис. 2. Зависимость критических моментов тока для трехжильных кабелей с алюминиевыми жилами на 1000 V от $\cos \varphi$ для потерь

Таблица 3

Критические моменты тока трехжильных кабелей до 1000 В при $E = 3-300$ В, $P_{\theta} = 3\%$; нагрев кабеля до 80°C

Сечение	Напряж. Допуст.	Ом/км	Характеристика жил кабеля	Критические моменты ($\times 10^3$)									
				о коэффициенте мощности (cos φ)									
				1,0	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	
1,5	30	3,57	—	0,586	0,612	0,647	0,686	0,725	0,772	0,83	0,886	0,932	
2,5	41	2,14	—	0,975	1,02	1,08	1,142	1,19	1,29	1,38	1,48	1,59	
4	54	1,34	0,021	1,56	1,63	1,725	1,83	1,93	2,06	2,2	2,365	2,545	
6	69	0,89	0,03	2,34	2,46	2,59	2,73	2,89	3,07	3,3	3,52	3,8	
10	92	0,535	0,048	3,21	3,46	3,6	3,81	4,05	4,3	4,51	4,775	5,04	
16	120	0,395	0,066	4,27	4,69	4,9	5,2	5,5	5,8	6,1	6,45	6,78	
25	160	0,284	0,106	6,06	6,6	6,9	7,3	7,7	8,1	8,5	8,95	9,4	
35	190	0,183	0,135	8,0	8,4	8,8	9,2	9,6	10,0	10,4	10,8	11,2	
50	235	0,107	0,19	10,6	11,0	11,4	11,8	12,2	12,6	13,0	13,4	13,8	
70	287	0,0765	0,259	14,9	15,4	15,8	16,2	16,6	17,0	17,4	17,8	18,2	
95	340	0,0565	0,346	20,3	20,8	21,2	21,6	22,0	22,4	22,8	23,2	23,6	
120	387	0,0447	0,436	27,5	28,0	28,4	28,8	29,2	29,6	30,0	30,4	30,8	
150	435	0,0357	0,538	36,9	37,4	37,8	38,2	38,6	39,0	39,4	39,8	40,2	
185	490	0,029	0,664	48,3	48,8	49,2	49,6	50,0	50,4	50,8	51,2	51,6	
240	570	0,0223	0,808	64,0	64,5	64,9	65,3	65,7	66,1	66,5	66,9	67,3	
300	670	0,016	1,016	84,0	84,5	84,9	85,3	85,7	86,1	86,5	86,9	87,3	
360	770	0,0116	1,28	108,0	108,5	109,0	109,4	109,8	110,2	110,6	111,0	111,4	
420	880	0,0083	1,6	138,0	138,5	139,0	139,4	139,8	140,2	140,6	141,0	141,4	
480	1000	0,0061	2,0	180,0	180,5	181,0	181,4	181,8	182,2	182,6	183,0	183,4	
540	1130	0,0048	2,5	234,0	234,5	235,0	235,4	235,8	236,2	236,6	237,0	237,4	
600	1270	0,0038	3,0	300,0	300,5	301,0	301,4	301,8	302,2	302,6	303,0	303,4	
660	1420	0,003	3,5	378,0	378,5	379,0	379,4	379,8	380,2	380,6	381,0	381,4	
720	1580	0,0024	4,0	468,0	468,5	469,0	469,4	469,8	470,2	470,6	471,0	471,4	
780	1750	0,0018	4,5	570,0	570,5	571,0	571,4	571,8	572,2	572,6	573,0	573,4	
840	1930	0,0014	5,0	684,0	684,5	685,0	685,4	685,8	686,2	686,6	687,0	687,4	
900	2120	0,0011	5,5	810,0	810,5	811,0	811,4	811,8	812,2	812,6	813,0	813,4	
960	2320	0,0008	6,0	948,0	948,5	949,0	949,4	949,8	950,2	950,6	951,0	951,4	
1020	2530	0,0006	6,5	1100,0	1100,5	1101,0	1101,4	1101,8	1102,2	1102,6	1103,0	1103,4	
1080	2750	0,0005	7,0	1266,0	1266,5	1267,0	1267,4	1267,8	1268,2	1268,6	1269,0	1269,4	
1140	2980	0,0004	7,5	1446,0	1446,5	1447,0	1447,4	1447,8	1448,2	1448,6	1449,0	1449,4	
1200	3220	0,0003	8,0	1640,0	1640,5	1641,0	1641,4	1641,8	1642,2	1642,6	1643,0	1643,4	
1260	3470	0,0003	8,5	1854,0	1854,5	1855,0	1855,4	1855,8	1856,2	1856,6	1857,0	1857,4	
1320	3730	0,0002	9,0	2088,0	2088,5	2089,0	2089,4	2089,8	2090,2	2090,6	2091,0	2091,4	
1380	4000	0,0002	9,5	2442,0	2442,5	2443,0	2443,4	2443,8	2444,2	2444,6	2445,0	2445,4	
1440	4280	0,0002	10,0	2916,0	2916,5	2917,0	2917,4	2917,8	2918,2	2918,6	2919,0	2919,4	
1500	4570	0,0002	10,5	3510,0	3510,5	3511,0	3511,4	3511,8	3512,2	3512,6	3513,0	3513,4	
1560	4870	0,0002	11,0	4224,0	4224,5	4225,0	4225,4	4225,8	4226,2	4226,6	4227,0	4227,4	
1620	5180	0,0002	11,5	5058,0	5058,5	5059,0	5059,4	5059,8	5060,2	5060,6	5061,0	5061,4	
1680	5500	0,0002	12,0	6024,0	6024,5	6025,0	6025,4	6025,8	6026,2	6026,6	6027,0	6027,4	
1740	5830	0,0002	12,5	7134,0	7134,5	7135,0	7135,4	7135,8	7136,2	7136,6	7137,0	7137,4	
1800	6170	0,0002	13,0	8388,0	8388,5	8389,0	8389,4	8389,8	8390,2	8390,6	8391,0	8391,4	
1860	6520	0,0002	13,5	9798,0	9798,5	9799,0	9799,4	9799,8	9800,2	9800,6	9801,0	9801,4	
1920	6880	0,0002	14,0	11376,0	11376,5	11377,0	11377,4	11377,8	11378,2	11378,6	11379,0	11379,4	
1980	7250	0,0002	14,5	13134,0	13134,5	13135,0	13135,4	13135,8	13136,2	13136,6	13137,0	13137,4	
2040	7630	0,0002	15,0	15084,0	15084,5	15085,0	15085,4	15085,8	15086,2	15086,6	15087,0	15087,4	
2100	8020	0,0002	15,5	17238,0	17238,5	17239,0	17239,4	17239,8	17240,2	17240,6	17241,0	17241,4	
2160	8420	0,0002	16,0	19598,0	19598,5	19599,0	19599,4	19599,8	19600,2	19600,6	19601,0	19601,4	
2220	8830	0,0002	16,5	23178,0	23178,5	23179,0	23179,4	23179,8	23180,2	23180,6	23181,0	23181,4	
2280	9250	0,0002	17,0	27000,0	27000,5	27001,0	27001,4	27001,8	27002,2	27002,6	27003,0	27003,4	
2340	9680	0,0002	17,5	32088,0	32088,5	32089,0	32089,4	32089,8	32090,2	32090,6	32091,0	32091,4	
2400	10120	0,0002	18,0	38454,0	38454,5	38455,0	38455,4	38455,8	38456,2	38456,6	38457,0	38457,4	
2460	10570	0,0002	18,5	46110,0	46110,5	46111,0	46111,4	46111,8	46112,2	46112,6	46113,0	46113,4	
2520	11030	0,0002	19,0	55170,0	55170,5	55171,0	55171,4	55171,8	55172,2	55172,6	55173,0	55173,4	
2580	11500	0,0002	19,5	65658,0	65658,5	65659,0	65659,4	65659,8	65660,2	65660,6	65661,0	65661,4	
2640	12000	0,0002	20,0	77610,0	77610,5	77611,0	77611,4	77611,8	77612,2	77612,6	77613,0	77613,4	
2700	12510	0,0002	20,5	91050,0	91050,5	91051,0	91051,4	91051,8	91052,2	91052,6	91053,0	91053,4	
2760	13030	0,0002	21,0	106014,0	106014,5	106015,0	106015,4	106015,8	106016,2	106016,6	106017,0	106017,4	
2820	13560	0,0002	21,5	122640,0	122640,5	122641,0	122641,4	122641,8	122642,2	122642,6	122643,0	122643,4	
2880	14100	0,0002	22,0	141000,0	141000,5	141001,0	141001,4	141001,8	141002,2	141002,6	141003,0	141003,4	
2940	14650	0,0002	22,5	161250,0	161250,5	161251,0	161251,4	161251,8	161252,2	161252,6	161253,0	161253,4	
3000	15210	0,0002	23,0	183540,0	183540,5	183541,0	183541,4	183541,8	183542,2	183542,6	183543,0	183543,4	
3060	15780	0,0002	23,5	208020,0	208020,5	208021,0	208021,4	208021,8	208022,2	208022,6	208023,0	208023,4	
3120	16360	0,0002	24,0	244860,0	244860,5	244861,0	244861,4	244861,8	244862,2	244862,6	244863,0	244863,4	
3180	16950	0,0002	24,5	294300,0	294300,5	294301,0	294301,4	294301,8	294302,2	294302,6	294303,0	294303,4	
3240	17550	0,0002	25,0	356700,0	356700,5	356701,0	356701,4	356701,8	356702,2	356702,6	356703,0	356703,4	
3300	18160	0,0002	25,5	432300,0	432300,5	432301,0	432301,4	432301,8	432302,2	432302,6	432303,0	432303,4	
3360	18780	0,0002	26,0	521400,0	521400,5	521401,0	521401,4	521401,8	521402,2	521402,6	521403,0	521403,4	
3420	19410	0,0002	26,5	624600,0	624600,5	624601,0	624601,4	624601,8	624602,2	624602,6	624603,0	624603,4	
3480	20050	0,0002	27,0	742500,0	742500,5	742501,0	742501,4	742501,8	742502,2	742502,6	742503,0	742503,4	
3540	20700	0,0002	27,5	885800,0	885800,5	885801,0	885801,4	885801,8	885802,2	885802,6	885803,0	885803,4	
3600	21360	0,0002	28,0	1055400,0	1055400,5	1055401,0	1055401,4	1055401,8	1055402,2	1055402,6	1055403,0	1055403,4	
3660	22030	0,0002	28,5	1252800,0	1252800,5	1252801,0	1252801,4	1252801,8	1252802,2	1252802,6	1252803,0	1252803,4	
3720	22710	0,0002	29,0	1479600,0	1479600,5	1479601,0	1479601,4	1479601,8	1479602,2	1479602,6	1479603,0	1479603,4	
3780	23400	0,0002	29,5	1737600,0	1737600,5	1737601,0	1737601,4	1737601,8	1737602,2	1737602,6	1737603,0	1737603,4	
3840	24100	0,0002	30,0	2029800,0	2029800,5	2029801,0	2029801,4	2029801,8	2029802,2	2029802,6	2029803,0	2029803,4	
3900	24810	0,0002	30,5	2458200,0	2458200,5	2458201,0	2458201,4	2458201,8	2458202,2	2458202,6	2458203,0	2458203,4	
3960	25530	0,0002	31,0	3027000,0	3027000,5	3027001,0	3027001,4	3027001,8	3027002,2	3027002,6	3027003,0	3027003,4	
4020	26260	0,0002	31,5	3742200,0	3742200,5	3742201,0	3742201,4	3742201,8	3742202,2	3742202,6	3742203,0	3742203,4	
4080	27000	0,0002	32,0	4609800,0	4609800,5	4609801,0	4609801,4	4609801,8	4609802,2	4609802,6	4609803,0	4609803,4	
4140	27750	0,0002	32,5	5636800,0	5636800,5	5636801,0	5636801,4	5636801,8	5636802,2	5636802,6	5636803,0	5636803,4	
4200	28510	0,0002	33,0	6832200,0	6832200,5	6832201,0	6832201,4	6832201,8	6832202,2	6832202,6	6832203,0	6832203,4	
4260	29280	0,0002	33,5	8306400,0	8306400,5	8306401,0	8306401,4	8306401,8	8306402,2	8306402,6	8306403,0		

На основе равенства (14) и выражения для k_x в табл. 3 подсчитаны величины $T_{ж.х}$ и k_x для различных коэффициентов k_3 , а графическая зависимость между ними изображена кривыми рис. 3.

Таблица 4

Температура нагрева жил кабеля $T_{ж.х}$ и коэффициент k увеличения омического сопротивления жил кабеля для разных значений коэффициента k_3 загрузки кабеля по плотности тока

k_3	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
Температ. жил кабеля . . .	80	65	53	43	35	26,7	23,5	19	17
k	1,24	1,18	1,13	1,09	1,06	1,035	1,01	1	—

Интересно отметить, что если пренебречь изменением омического сопротивления жил кабеля вместе с изменением температуры их нагрева, то $T_{ж.х}$ всегда получается больше примерно на 10%. В самом деле, в этом случае $T_{ж.х}$ легко находится из равенства $T_{ж.х} - 15 = 65k_3^2$; если взять $k = 0,7$, то $T_{ж.х} = 17^\circ\text{C}$, в то время как по табл. 4 для того же $k_3 = 0,7$ имеем $T_{ж.х} = 43^\circ\text{C}$.

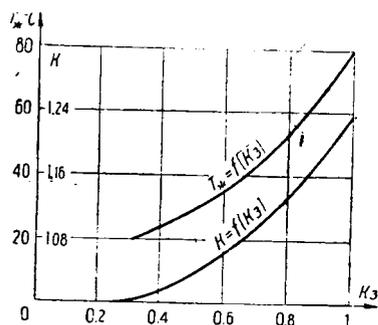


Рис. 3. Зависимость температуры $T_{ж.х}$ нагрева жил кабеля и коэффициента k увеличения омического сопротивления жил кабеля от коэффициента k_3 загрузки кабеля по плотности тока

Зная зависимость между k и k_3 , перейдем к определению отношения (10). Назовем это отношение коэффициентом перехода от номинального критического момента к действительному моменту и обозначим этот коэффициент через k_n .

$$\frac{M_{к.н}}{M_{к.н}} = k_n = \frac{1,24 + \frac{x}{r} \operatorname{tg} \varphi}{k + \frac{x}{r} \operatorname{tg} \varphi} \quad (10')$$

По формуле (10') в табл. 5 подсчитаны значения для различных значений коэффициента загрузки k_3 , $\cos \varphi$ и нормальных сечений жил кабелей. В табл. 5 данные нескольких сечений объединены, так как разница их коэффициентов не превосходит $3 \div 4\%$, чем практически можно пренебречь. Из этой таблицы легко усмотреть, что при коэффициенте загрузки порядка 0,8 недоучет влияния загрузки кабеля по плотности тока на критический момент влечет за собою уменьшение критического момента на $6 \div 10\%$, что в свою очередь приводит к увеличенным значениям расчетной потери напряжения [см. формулу (9)].

Таблица 5

Величины коэффициента k_n для перехода от номинального критического момента к действительному моменту

Сечения	k_3	$\cos \varphi$										
		1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
Все	1	1	1,02	1,05	1,08	1,1	1,12	1,14	1,17	1,2	1,23	1,24
До 35°	До 0,6	1	1,01	1,04	1,07	1,09	1,1	1,13	1,16	1,19	1,21	1,22
		1	1	1,01	1,04	1,06	1,08	1,1	1,12	1,15	1,16	1,17
50—120° 75—180°	До 0,6	1	1	1,01	1,04	1,06	1,08	1,1	1,12	1,15	1,16	1,17
		1	1	1,01	1,04	1,06	1,08	1,1	1,13	1,14	1,15	1,15
150—240 225—360	До 0,8	1	1	1,01	1,04	1,06	1,08	1,1	1,13	1,14	1,15	1,15
		0,6	1	1	1,01	1,04	1,05	1,06	1,07	1,09	1,1	1,12

Применяя данные табл. 5 ко второй части вышеприведенного примера, получим следующее его решение:

По табл. 3 выбираем сечение 70 мм^2 с критическим моментом при $p_E = 1,5\%$:

$$M_{к.н} = 1,5 \cdot 23\,000 = 11\,500;$$

коэффициент перехода от $M_{к.н}$ к $M_{к.н}$ находим по табл. 5 для коэффициента загрузки по плотности тока:

$$k_3 = \frac{165}{0,75 \cdot 287} = 0,765 \quad \text{и} \quad \cos \varphi = 0,78, \quad k_n = 1,09;$$

тогда $M_{к.н} = 11\,500 \cdot 1,09 = 12\,500$, что весьма близко подходит к расчетному моменту $M = 13\,200$.

Действительная потеря напряжения составит

$$p_E = \frac{13\,200}{12\,500} \cdot 1,5 = 1,58\%,$$

что даёт отклонение от заданной величины в 1,5% всего лишь на 5%.

Если бы мы в этом же примере выбрали сечение 70 мм^2 и вели расчет без учета коэффициента k_n , то это же отклонение составило бы уже 15% от заданной величины, что практически потребовало бы перехода к следующему нормальному сечению, т. е. 95 мм^2 .

Отсюда заключаем, что учет коэффициента k_n даёт существенную величину экономии меди при незначительном отклонении величины потери напряжения от заданной.

Итак, расчет кабельной сети по методу критических моментов с учетом загрузки кабеля по плотности тока сводится к следующему:

1. Выбор сечения кабеля по плотности тока согласно току для выбора

$$I_s = \frac{I_{расч}}{\text{коэффициент прокладки}}$$

2. Нахождение в табл. 3 (или для алюминиевых кабелей по кривым рис. 1) номинального критического момента $M_{к.н}$ для сечения q кабеля по п. 1 или для ближайшего сечения, если $M_{к.н}$ для сечения q значительно меньше расчетного момента $M = I_s$.

3. Определение коэффициента загрузки кабеля по плотности тока

$$k_3 = \frac{I_s}{I_m}$$

и нахождение в табл. 5 коэффициента перехода от номинального к действительному критическому моменту k_n .

4. Подсчет действительной величины потери напряжения по формуле (9)

$$p_E = \frac{3M}{M_{к.н} k_n}$$

Для большинства случаев, наиболее часто встречающихся в практике расчета кабельных силовых сетей при напряжении 380 и 500 В, коэффициент k_3 не бывает ниже 0,8, в особенности для кабелей сравнительно больших сечений (50 мм^2 и выше), тогда п. 3 исключается и весь расчет выполняется согласно пп. 1, 2 и 4.

Удобство этого метода расчета заключается также в том, что все его основные вехи могут быть сведены в стандартную расчетную таблицу.

4. Табличная форма расчета силовых магистралей

Расчет магистральных сетей радиальной системы, имеющий конечной целью определение сечения их участков, удовлетворяющего условиям допустимых плотностей тока и потерь напряжения, удобнее всего выполнить в виде таблицы (см. табл. 6). В той же форме также удобно привести и данные об аппаратуре управления и защиты для отдельных участков сети.

Назначение и заполнение отдельных граф табл. 6 поясним приведенным там же числовым примером расчета участка сети трехфазного тока $3 \times 380 \text{ В}$, питающего отделение одного завода от подстанции.

Данные граф 3, 4 и 5 взяты из расчета потребной мощности этого отделения.

Ток в графе 6 подсчитан по известной формуле

$$I = \frac{P \cdot 1000}{1,73 E \cos \varphi}$$

Графы 7 и 8 заполнены согласно проекту трассировки магистральной сети. Вообще же графа 7 заполняется условным обозначением применяемой проводки, например, СБС—кабель, ВЛ—воздушная линия, ПРТ—провод в трубах и т. п., и соответственно графа 8 заполняется условным обозначением способа канализации, например, ТР-6—в траншее с 6 кабелями, ВЗ—внутри здания и т. д.

Графы 9 и 11 заполнены по табл. 9 и 14 и § 18, в и г) ОСТ 4634 согласно данным граф 6 и 8.

Графа 10 получена путем деления тока по графе 6 на коэффициент прокладки по графе 9.

1) Необходимо иметь в виду, что существующая редакция этого параграфа ОСТ в ближайшее время будет заменена новой (см. журнал "Электрификация и электромонтер" № 6, 1933, отдел хро-

Таблица 6

№ по порядку	Направление участка сети от—до	Присоединяемая рабочая мощность kW	Расчетная нагрузка		Канализация участка сети	Допустимое сечение одной жилы (ОСТ)	Моменты тока $\times 10^{-3}$		Характеристика участка сети											Управление и защита участка сети					
			Мощность kW	cos φ			Ток A	Тип проводки	Способ прокладки	Коэффициент прокладки	Ток для выбора A	Число цепей и сечение жил (mm ²)	Номинал. критич. принятого сечения при $p_E = 3\%$	Расчетный момент	Длина участка m	Принятое число цепей и сечение жил (mm ²)	Коэффициенты			Потери			Тип распределительного пункта или наименование элементов распределит. устройства	Ток предохранителя или автомата	
																	Загрузки по плотности тока k_3	Перехода к действительному критическому моменту k_n	Перехода от p_E к p_n (k_w)	От начала данного	От точки питания	Мощности в данном участке kW		Номинальный A	Установочный автомата или плавкой вставки A
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
1	Подстанция, пункт № 1	60	50	0,75	102	СБС TP-6	0,75	136	1-25	9,34	10,2	100	1-25	0,85	1,06	1,66	3,06	3,06	2,54	Гл. щит руб. пред.	200	125			

Таблица 7

Коэффициент k_w для перехода от потери напряжения (%) к потере мощности (%) для трехжильных кабелей до 1000 V

Материал	Сечения от—до mm ²	cos φ	k_w									
			1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	
Cu	4—25	Независим.	1	1,1	1,2	1,35	1,5	1,7	1,93	2,21	2,58	
Cu Al	35—50 75		1	1,06	1,15	1,27	1,4	1,58	1,78	2,02	2,32	
Cu	70—95	0,9	1	1,02	1,09	1,19	1,29	1,5	1,62	1,81	2,1	
Al	105—143	0,5										1,57
Cu	120—150	0,9	1	0,97	1,02	1,1	1,2	1,3	1,43	1,6	1,8	
Al	150—185	0,5										1,07
Cu	185	0,9	1	0,93	0,96	1,01	1,1	1,19	1,3	1,43	1,6	
Al	185—225	0,5										1,05
Cu	240	0,9	1	0,88	0,89	0,95	1,0	1,07	1,16	1,27	1,38	
Al	240—278	0,5										0,9
Al	180—225	0,9	1	0,98	1,04	1,13	1,22	1,34	1,48	1,65	1,86	
Al	225—278	0,5										1,1
Al	278	0,9	1	0,95	0,98	1,04	1,14	1,23	1,34	1,49	1,65	
Al	278—360	0,5										1,09
Al	360	0,9	1	0,9	0,93	0,98	1,05	1,13	1,22	1,34	1,48	
Al	360—4634	0,5										0,94

Длины эти назовем критическими. Величина их, очевидно, определится по соответствующим критическим моментам $M_{к.к}$ из выражения

$$l_k = \frac{M_{к.к}}{I_M} \text{ м,} \tag{8'}$$

где I_M —максимально допустимая нагрузка для кабеля сечением q по ОСТ 4634.

Значения номинальных критических длин в зависимости от cos φ для низких напряжений приведены в табл. 8 и являются предельно минимальными, ибо они определены для общего случая без учета коэффициентов прокладки, загрузки (k_3 и перехода) (k_n). Учет этих коэффициентов значительно увеличивает критическую длину; так для примера, приведенного в табличной форме расчета, имеем по табл. 7 для $q = 25 \text{ mm}^2$ при $E = 380 \text{ V}$ и $\cos \phi = 0,78$, $I_k = 56 \text{ м}$, когда по этому кабелю проходит ток $I_M = 160 \text{ A}$. В действительности же по нему проходит ток $I = I_M k_{np} k_3 = 102 \text{ A}$, а следовательно, действительная критическая длина $l_{к.д}$ будет больше номинальной в

$$\frac{k_n}{k_{np} k_3} = \frac{1,07}{0,75 \cdot 0,85} = 1,68 \text{ раза.}$$

В каждом частном случае необходимо последнее учесть, причем для грубых подсчетов можно принять, что

В табл. 7 данные нескольких сечений объединены, так как разница в их коэффициентах не превосходит 3—4%, что для данного расчета является вполне допустимым.

Графы 22 и 23 служат заданием для составления проекта щита или распределительного устройства, и графа 24 служит для установки защиты участка сети.

Графа 12 заполнена из табл. 3 настоящей статьи для сечения графы 15 и cos φ графы 5.

Графа 13 получена перемножением данных графы 6 и графы 14.

Сравнивая моменты граф 12 и 13, учитывая коэффициент перехода k_n , приводимый в графе 17, легко заключить, что сечение, выбранное в графе 11, удовлетворяет и условиям допустимой потери напряжения, так как $M_{к.к} \approx \frac{M}{k_n}$, поэтому в графе 15 повторено то же сечение.

Графа 16 получена путем деления тока графы 10 на ток табл. 9 ОСТ для сечения 25 mm² при напряжении 1000 V. Коэффициент k_3 характеризует возможность присоединения дополнительной мощности и одновременно служит для определения коэффициентов k_n и k_w граф 17 и 18.

Графа 19 получена из соотношения $\frac{3 \cdot 10 \cdot 200}{9340 \cdot 1,07}$.

Графа 20 в данном случае является повторением. В общем случае графа 20 дает общую потерю напряжения от первой точки питания (например, подстанции) и получается суммированием потерь в отдельных рассчитанных ранее участках, предшествующих по ходу тока рассматриваемому.

Потери мощности, указанные в графе 21, могут быть определены двояко:

а) по коэффициенту перехода k_w от потери напряжения к потере мощности из соотношения

$$\omega = \frac{p_E k_w P}{100},$$

где p_E берется из графы 19, k_w —из графы 18, заполненной по данным табл. 6, а P —передаваемая мощность берется из графы 4;

б) по формуле

$$\omega = 3R \frac{l}{100} k^2 p,$$

где $3R$ берется из табл. 3 для выбранного сечения длиной 100 м, l —расчетная длина участка из графы 14, k берется из табл. 4 в зависимости от k_3 в графе 16 и l берется из графы 6.

Практически удобнее пользоваться способом п. „а“, так как здесь почти все данные берутся из расчетной таблицы, а число операций вычисления меньше. Способом п. „б“ рекомендуется пользоваться для проверки всего расчета как потери мощности, так и потери напряжения. В таблице 7 подсчитаны значения k_w по соотношению 5 из табл. 1.

5. Критические длины трехжильных кабелей на 1000 V

Для ориентировочных подсчетов и соображений о конфигурации проектируемой сети и радиусе ее действия, что имеет место в вопросах о выборе числа трансформаторных подстанций или распределительных пунктов и т. п., зачастую необходимо знать ту длину кабеля заданного сечения q , при которой потеря напряжения в нем при определенном значении cos φ не превосходит заданной величины, когда по жилам этого кабеля проходит максимально допустимый ток.

Таблица 8

Критические длины трехжильных кабелей на 1 000 В при потере напряжения $p_E = 3\%$ и полной загрузке их сечения по плотности тока по ОСТ 4634.

Характеристика жил кабеля		К р и т и ч е с к и е д л и н ы														
Сечение mm^2	Допустимая нагрузка А	Напряжение 3-200 В					Напряжение 3-380 В					Напряжение 3-500 В				
		К о э ф ф и ц и е н т м о щ н о с т и (cos φ)														
1	2	1	0,9	0,8	0,7	0,6	1	0,9	0,8	0,7	0,6	1	0,9	0,8	0,7	0,6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
М е д ь																
1,5	30	8,60	9,5	10,6	12,20	14,00	15,0	16,4	18,4	21,0	24,2	19,6	21,6	24,2	27,7	31,1
2,5	41	10,50	11,6	13,0	14,8	17,10	17,8	20,0	22,5	25,5	29,5	23,8	26,3	29,4	33,6	38,9
4	54	12,7	14,1	15,8	18	20,8	22	24,4	27,3	31	36	29	32	36	41	47
6	69	15	16,5	18,4	21	24,2	26	28,5	31,8	36,3	41,8	34	38	41	48	55
10	92	18,7	20,5	22,8	25,9	30	32,3	35,5	39,4	44,7	52	43	47	52	59	68
16	120	23	24,8	27,5	31,1	35,7	40	42,8	47,5	53,7	61,7	52	56	62	71	81
25	160	27	28,8	31,9	35,6	40,6	46,6	50	55	61,5	70	62	66	72	81	92
35	190	31,9	33,6	36,8	41	46,3	55	58	63,5	71	80	72	77	84	93	105
50	235	36,7	37,9	41,3	45,3	50,5	63	65,5	71	78	87	83	86	94	102,5	115
70	287	42,1	42,5	45,5	49,6	54,8	72,5	73,5	78,6	86	95	96	97	103	113	125
95	340	48,2	47	49,8	53,7	58,5	83	81	86	93	101	112	107	113	122	133
120	387	53,5	50,6	52,8	56,3	60,2	92,5	87	91,5	97	104	122	115	120	128	137
150	435	58,3	53,5	55	58	61,3	101	94	95	100	106	132	122	125	132	139
185	490	65,3	58	58	60,3	63	113	100	100	104	109	149	132	132	137	143
240	570	72,5	60,5	59,6	61,3	63	125	105	103,	106	109	165	137	135	139	143
А л ю м и н и й																
75	235	33,8	35,2	38,3	42,3	47,5	58,94	60,8	66	73	82	77	80	87	96	107,5
105	287	38,7	39,4	42,3	46,3	51,3	66,7	68	73	80	87,5	88	89,5	96	105	116
143	340	44,5	43,8	46,5	50,4	55	77	75,7	80	87	95	101	100	105	113	125
180	387	49,3	48,3	49,8	53,1	57,4	85	83,5	86	92	99	112	109	112,5	120	130
225	435	55	51,2	53	56,2	60	95	88,5	91,5	97	104	125	116	120	127	136
278	490	60,3	54	55,2	57,6	61	104	93	95,5	100	105	137	122	125	130	138
360	570	67,4	57,2	57,3	58,9	61	116	99	99	102	105	153	130	130	133	138

16/ХІІ—33 г.

Электролитические счетчики переменного тока

Инж. А. С. Касаткин

Московский филиал ВИМС
Московский энергетический институт

Общие замечания

Из числа различных конструкций электрических счетчиков постоянного тока внимание электрика невольно привлекают своеобразные свойства электролитического водородного счетчика. Рис. 1 должен напомнить читателю принцип действия и внешний вид этого счетчика в той его конструктивной форме, которая была придана ему Касселем и изготавливается германской фирмой SSW в Нюрнберге.

Как известно, рабочий процесс водородного счетчика сводится к переносу газообразного водорода из резервуара анода *a* в измерительную трубку *M* над катодом; опрокидывание сосуда счетчика возвращает водород из измерительной трубки в резервуар анода. Три ценных технических качества выделяет водородный счетчик из числа всех электрических счетчиков:

- 1) полное отсутствие изнашивающихся частей, а благодаря этому отсутствие потребности в ремонте и перерегулировке;
- 2) строго линейная характеристика, т. е. прямая пропорциональность между прошедшим через счетчик количеством электричества и перенесенным количеством водорода;
- 3) исключительно малое собственное потребление энергии (0,5 мА при $R_{сч} + R_{доб} = 10\,000 \Omega$).

Эти ценные свойства водородного счетчика, естественно, вынуждают искать путей приспособления его для иных видов электрических измерений, а не только для учета энергии (количества электричества) в цепях постоянного тока. В частности, водородный счетчик уже приспособлен для тепловых измерений, для газоанализа, в связи с чем в план работ ВОТИ включен вопрос об освоении производства водородных счетчиков в СССР.

Целью работы автора настоящей статьи является построение водородного счетчика переменного тока; насколько известно автору, в мировой технической литературе этот вопрос до сих пор поставлен не был. Исследование было намечено автором в двух направлениях:

- 1) построение электролитического счетчика ваттчасов переменного однофазного и трехфазного тока, состоящего из водородного счетчика и термоумформера;
- 2) построение электролитического счетчика амперчасов переменного тока и суммирующего счетчика и суммирующего счетчика.

Счетчик ваттчасов однофазного и трехфазного токов

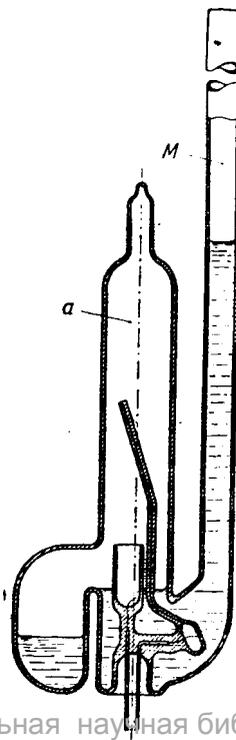
Еще в 1903 г. Баухом и Фильдом был построен тепловой ваттметр ¹⁾; прибор этот не получил практического распространения из-за всех тех недостатков тепловых приборов, которые в нем проявлялись особенно резко (тепловая инерция, большое собственное потребление энергии, чувствительность к перегрузкам).

В 1930 г. Брюкман и Рейхерт удачно применили принцип теплового ваттметра для построения термоэлектрического ваттметра, состоящего из термоэлементов (термоумформеры) и магнитоэлектрического милливольтметра ²⁾. Следующим шагом в прогрессе термоэлектрического принципа является предлагаемое автором статьи применение принципа теплового ваттметра и термоумформеров для построения счетчика ваттчасов переменного и постоянного токов.

Схема соединения водородного счетчика ваттчасов показана на рис. 2. Здесь R_1 —две тепловые нити, нагревающие дифференциальную термобатарей (e_1 и e_2); последняя замкнута на водородный счетчик. По одному из двух нагревательных сопротивлений R_1 проходит ток

$$i_1 = i' + i'',$$

т. е. ток, равный сумме тока i' , пропорционального рабочему току i , и тока i'' , пропорционального рабочему



напряжению U ; по второму нагревательному сопротивлению R_t проходит ток

$$i_2 = i' - i''$$

т. е. ток, равный разности названных токов.

Электродвижущие силы двух половин дифференциальной термобатареи соответственно будут:

$$e_1 = K_1 i_1^2 R_t = K_1 (i' + i'')^2 R_t$$

и

$$e_2 = K_2 i_2^2 R_t = K_2 (i' - i'')^2 R_t$$

Здесь K_1 и K_2 —коэффициенты, значение которых зависит от конструкции термоумформеров. Значения K_1 и K_2 постоянны при условии, что нагрев термоумформеров не превышает примерно 100°.

На электродвижущий счетчик действует электродвижущая сила, равная разности e_1 и e_2 ; следовательно, ток в счетчике будет

$$i_{cч} = \frac{e_1 - e_2}{R_{cч} + R_{доб} + R_{мб}}$$

Здесь в знаменателе сопротивление счетчика (200 Ω), добавочное сопротивление (800 Ω) и сопротивление термобатареи (5 Ω). Материал добавочного сопротивления выбран так, чтобы компенсировать изменения сопротивления счетчика с изменением температуры. Изменения сопротивления $R_{мб}$ практически совершенно не сказывается на токе счетчика, и в этом существенное преимущество водородного счетчика перед прочими термоприборами, в которых из-за влияния $R_{мб}$ приходится уменьшать нагрев тепловых нитей.

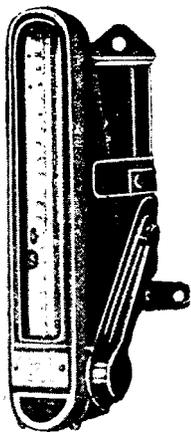


Рис. 1а

Следовательно можно считать, что

$$i_{cч} = K_3 i'^2 R_t + K_3 i''^2 R_t + K_4 \cdot 2 i' i'' R_t - K_4 i'^2 R_t - K_4 i''^2 R_t + K_4 \cdot 2 i' i'' R_t = 2 i' i'' (K_3 R_t + K_4 R_t) + i'^2 (K_3 R_t - K_4 R_t) + i''^2 (K_3 R_t - K_4 R_t).$$

Здесь и в дальнейшем K обозначает постоянные коэффициенты.

Так как $i' = K_5 i$, а $i'' = K_6 U$, то

$$i_{cч} = 2 K_3 K_6 U i (K_3 R_t + K_4 R_t) + i^2 K_6^2 (K_3 R_t - K_4 R_t) + U^2 K_6^2 (K_3 R_t - K_4 R_t).$$

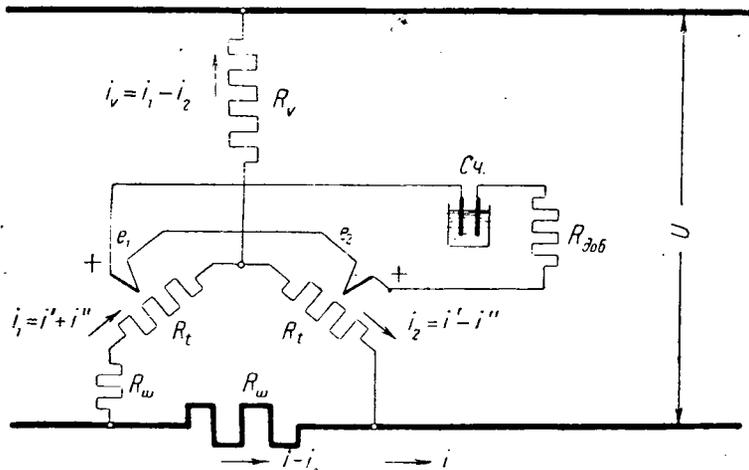


Рис. 2

Термобатарея должна быть изготовлена так, чтобы $K_3 = K_4$; при этом условии

$$i_{cч} = K_7 U i,$$

или, переходя от постоянного тока или от мгновенных значений переменного тока к эффективным значениям, получим:

$$i_{cч} = K_8 U I \cos \varphi,$$

и счетчик будет учитывать

$$\int i_{cч} dt = K_8 \int U I \cos \varphi dt,$$

т. е. показания счетчика будут пропорциональны работе тока, причем счетчик будет правильно работать как при постоянном, так и при переменном токе и, следовательно, может быть проверен при помощи постоянного тока для измерений переменного тока.

Для того чтобы построить счетчик трехфазного тока, достаточно

соединить последовательно их термобатарей и замкнуть их на тот же электродвижущий счетчик (рис. 3). В этом случае:

$$i_{cч} = \frac{e_1 - e_2 + e_3 - e_4}{R_{cч} + R_{доб} + 2 R_{мб}} = K_7 (U_{13} i_1 + U_{23} i_2) = K_7 P_{3ф}.$$

Здесь i_1 и i_2 —линейные токи, а U_{13} и U_{23} —соответствующие междуфазовые напряжения. Как видим, согласно формуле Арона ток в счетчике пропорционален мощности трехфазной системы.

Практическое построение дифференциальной батареи для термоумформеров в настоящее время не представляет собой значительных трудностей³⁾. Конструктивно дифференциальную термобатарею удобно выполнять в виде двух нагревательных нитей, заключенных в тонкие изолирующие трубки, поверх этих трубок размещаются спай термобатареи (рис. 4).

Добавочное сопротивление $R_{мб}$ в ветви тока i_1 (рис. 2) служит для того, чтобы при рабочем токе $i = 0$ ток в обеих тепловых нитях был одинаков, благодаря чему в этом случае

$$e_1 - e_2 = 0 \text{ и } i_{cч} = 0.$$

На показания счетчика несколько влияет собственное потребление термоумформера, величину этого влияния можно определить, как это показал Брюкман для термоваттметра, с помощью основных уравнений цепи прибора (рис. 2):

$$U = i_1 R_v - i_2 R_v - i_2 R_t, \\ (i_1 - i_2) R_{мб} = i_1 (R_{мб} + R_t) + i_2 R_t,$$

После соответствующего преобразования на основании двух уравнений получим

$$i_{cч} = K (i'^2 - i''^2) = K_9 U i + 0,5 i^2 R_{мб}$$

или, переходя к эффективным значениям,

$$i_{cч} = K_{10} (U I \cos \varphi + 0,5 I^2 R_{мб}),$$

т. е. кроме энергии нагрузки счетчиком учитывается половина потребления энергии в шунте.

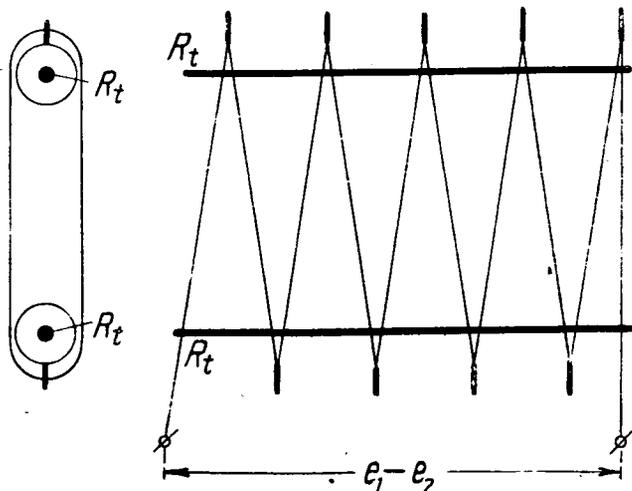


Рис. 4

Величина этой погрешности невелика и может быть в случае необходимости точно учтена для данной нагрузки. Те конструктивные данные, какие можно примерно указать для счетчика, позволяют определить процент названной погрешности.

Счетчик на 5 А и 100 В имеет $IR_{мб} \approx 0,5$ В и $R_v = 2000 \Omega$; в таких условиях при номинальной нагрузке и $\cos \varphi = 0,5$ погрешность на собственное потребление шунта счетчика будет 0,5%. Наконец, при желании эту погрешность можно компенсировать с помощью дополнительной терморезисторной пары, э. д. с. которой должна быть

$$e_k = K_{ком} I^2 R_{ш}.$$

Теперь мы можем отметить характерные особенности этого нового счетчика, который соединяет в себе два ценных принципа измерения:

принцип химического действия тока, на котором основано определение единицы тока (ампера), и принцип теплового действия тока, на котором основано определение эффективного значения переменного тока. Достоинствами счетчика следует назвать:

1) полное отсутствие изнашивающихся частей, благодаря чему счетчик не требует периодического ремонта и перерегулировки;

2) правильность показаний счетчика не зависит от частоты, сдвига фаз, магнитных полей, формы кривой переменного тока и т. д.;

3) счетчик обладает почти строго линейной характеристикой; указанная выше погрешность от собственного потребления энергии незначительна по сравнению с погрешностями других счетчиков.

Однако собственное потребление счетчика относительно велико. Счетчик значительно менее вынослив к перегрузкам, чем индукционный. Наконец, проверка счетчика длительна из-за отсутствия вращающегося диска.

Указанные свойства счетчика определяют по мнению автора его назначение как счетчика контрольного, счетчика для особого точного учета энергии и счетчика для специальных случаев измерения (например, при быстро колеблющейся нагрузке, при больших сдвигах фаз, при высокой частоте). Однако для контрольного счетчика необходимо ускорить проверку, и для этой цели можно переоборудовать измерительную трубку счетчика. Водород вырывается из камеры катода отдельными пузырьками, которые очень медленно поднимаются через электролит в измерительную трубку. Как показали наблюдения автора статьи, размеры этих пузырьков не зависят от величины тока, а только от размеров отверстий сетки катода. Нужно точно выверить размеры этих отверстий и поставить на пути пузырьков сужение трубки с отметкой; при такой конструкции для проверки счетчика достаточно будет отсчитывать число пузырьков, прошедших мимо отметки за время поверки.

Счетчик амперчасов переменного тока

Простейшим способом превращения электролитического счетчика амперчасов постоянного тока в такой же счетчик переменного тока является включение сухого выпрямителя в ветвь счетчика согласно рис 5, при таком способе соединения измеряемый переменный ток будет проходить через шунт счетчика ($R_{ш}$), и лишь ничтожная доля одной его полу волны будет ответвляться через выпрямитель и счетчик.

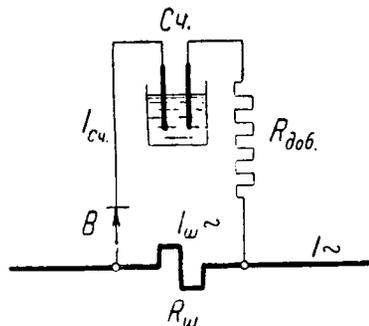


Рис. 5

Однако такому простому решению вопроса помешает прежде всего свойство меднозакисного выпрямителя (общее для всех современных сухих выпрямителей) плохо выпрямлять ток при низких напряжениях, в частности, в условиях, соответствующих рис. 5, при нормальном падении напряжения на шунте. На рис. 6 показана полученная в лаборатории московского филиала Всесоюзного института метрологии и стандартизации кривая зависимости постоянной составляющей тока в ветви счетчика (в микроамперах) от приложенного напряжения ($IR_{ш}$) в вольтах. Из нее ясно видно, что при нормальном падении напряжения на шунте счетчика постоянная со-

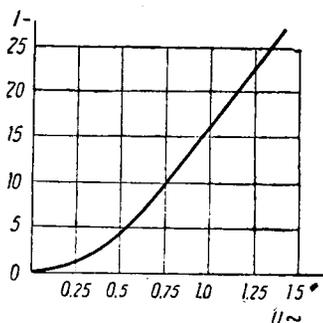


Рис. 6

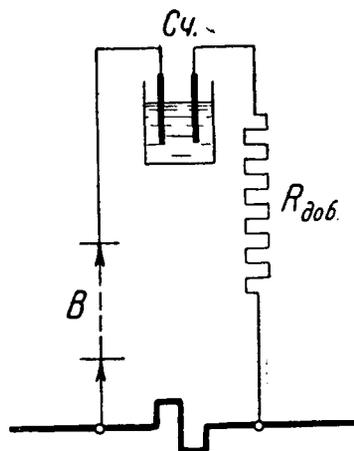


Рис. 7

ставляющая тока в ветви счетчика слишком мала и недостаточна для нормальной работы водородного счетчика (0,5 мА при номинальной нагрузке). Для улучшения выпрямления автор предложил применить последовательное соединение выпрямителей (рис. 7); действительно, опыт подтвердил, что составленная постоянная составляющая тока

выпрямителей до некоторого предела: при увеличении числа последовательно соединенных выпрямителей свыше пяти постоянный ток начинает уменьшаться, очевидно, благодаря влиянию внутреннего сопротивления выпрямителя (около 200 Ω).

Однако даже при последовательном соединении пяти выпрямителей постоянный ток в ветви счетчика слишком мал для нормальной работы счетчика, для дальнейшего увеличения постоянного тока автор предложил шунтировать счетчик выпрямителем в непроводящем направлении (рис. 8).

Для отвода мимо счетчика обратной полу волны переменного тока, пропущенного выпрямителем, в ветвь счетчика помещен шунтирующий меднозакисный выпрямитель, который представляет собой для названной полу волны сопротивление порядка 200 Ω , в то время как сопротивление счетчика $R_{сч}$ вместе с его добавочным сопротивлением $R_{доб}$ равно 10 000 Ω ; благодаря этому шунтирование счетчика выпрямителем увеличивает постоянный ток через счетчик до величины, достаточной с избытком для нормальной работы счетчика.

Однако для работы счетчика необходима не только достаточная величина выпрямленного тока, но и постоянство отношения эффективного значения переменного тока (а следовательно, и падения на-

пряжения на шунте $IR_{ш}$) к среднему значению выпрямленного тока. Серьезным препятствием на пути к выполнению этого требования является уже приведенная выше на рис. 6 криволинейная характеристика зависимости постоянного тока меднозакисного выпрямителя от приложенного переменного напряжения. Благодаря применению сложной схемы соединений согласно рис. 8 возросла величина постоянного тока, но характер зависимости остался прежним.

Так же, как и для одного выпрямителя, для соединения по схеме рис. 8 прямолинейная часть характеристики начинается только с напряжений выше 0,5 В. Для того чтобы показания счетчика удовлетворяли требованиям точности, необходимо, чтобы нагрузке счетчика в пределах от 10 до 100% соответствовали напряжения на зажимах ветви счетчика, т. е. напряжения на шунте счетчика не ниже, чем от 0,5 до 5 В. Это требование неприемлемо при непосредственном включении счетчика в цепь, указанное обстоятельство вынудило автора снабдить счетчик еще одним приспособлением — трансформатором тока, рассчитанным на вторичный номинальный ток порядка 0,5 А (или меньше). Вторичная цепь этого трансформатора тока замыкается на шунт счетчика (рис. 9), сопротивление которого в данном случае должно быть равно 10 Ω .

При таких условиях приведенная величина сопротивления шунта по отношению к первичной цепи, как известно, будет

$$R'_{ш} = \left(\frac{R_{ш}}{\frac{w_2}{w_1}} \right)^2;$$

например, при

$$\frac{w_2}{w_1} \approx \frac{I_1}{I_2} = \frac{5}{0,5}$$

$$R'_{ш} = 0,1 \Omega,$$

что дает падение напряжения 0,5 В (здесь не учитывается падение напряжения, обусловленное сопротивлением и рассеянием самого трансформатора тока).

Такой образом, описанный способ обеспечивает нормальную работу счетчика при переменном токе.

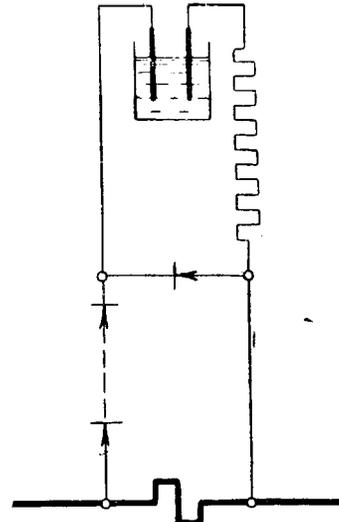


Рис. 8

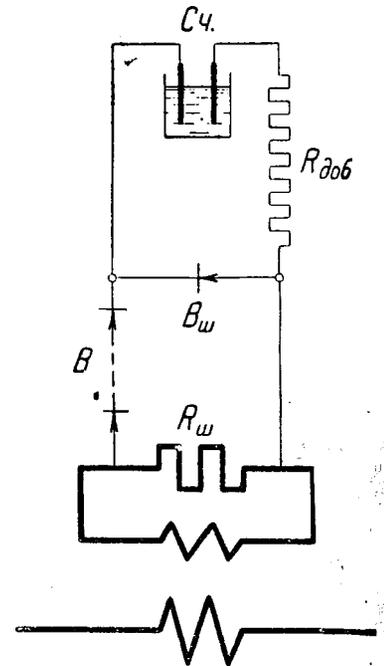


Рис. 9

часов переменного тока, что подтверждается лабораторным опытом. Кратко остановимся теперь на тех достоинствах и недостатках, которые мы можем уже на данной стадии исследования отметить у нового счетчика переменного тока. Выше мы назвали три основных ценных качества водородного счетчика амперчасов постоянного тока. Прделанное нами превращение его в счетчик амперчасов переменного тока достигнуто ценой потери строгой прямолинейности кривой погрешностей счетчика и ценой повышения собственного потребления энергии до величины, близкой к собственному потреблению индукционного счетчика. Наконец, при превращении значительно усложнилось самое устройство счетчика (выпрямители, трансформатор тока). Однако водородный счетчик амперчасов переменного тока сохранял:

1) чрезвычайно ценные свойства водородного счетчика постоянного тока — отсутствие изнашивающихся частей;

2) преимущество рассматриваемого счетчика мы можем считать также отсутствие непрерывного потребления тока в напряженческой цепи; в условиях крупных городов это потребление тока напряженческими цепями индукционных счетчиков дает в сумме в дневные часы значительный реактивный ток;

3) стоимость изготовления водородного счетчика постоянного тока при массовом производстве значительно ниже стоимости индукционного счетчика, и стоимость трансформатора тока на низкое напряжение и пластин меднозакисных выпрямителей невелика; таким образом водородный счетчик амперчасов переменного тока в целом будет при массовом производстве, вероятно, дешевле индукционного счетчика;

4) счетчик благодаря большому внутреннему сопротивлению очень вынослив к перегрузкам;

5) счетчик нечувствителен к внешним магнитным полям, колебания частоты сказываются на его показаниях меньше, чем на показаниях индукционного счетчика, так как влияние частоты сказывается почти исключительно на точности работы трансформатора тока счетчика. Влияние температуры на показания счетчика скомпенсировано посредством соответствующего выбора материала и величины добавочного сопротивления.

Регулировка кривой погрешностей счетчика может быть осуществлена посредством изменения величины и материала добавочного сопротивления и шунта, посредством соответствующего подбора характеристики выпрямителей, и, наконец, посредством воздействия на кривую погрешностей трансформатора тока. Все это в совокупности дает достаточно широкие возможности регулировки счетчика.

Отметим наиболее существенные недостатки рассматриваемого счетчика:

1. Длительность проверки счетчика благодаря наличию только одной измерительной трубки и отсутствию вращающегося диска. Выше, рассматривая водородный счетчик ваттчасов, мы остановились на тех изменениях в конструкции счетчика, которые могут упростить и ускорить проверку счетчика.

2. Показания счетчика зависят от формы кривой мгновенных значений переменного тока. Затруднительно дать точную математическую формулу, определяющую это влияние, так как самое выпрямление зависит от мгновенного значения тока. Приблизительно мы можем считать, что счетчик учитывает величину

$$\frac{1}{2} \int_0^T i dt = \frac{I_{cp}}{2} T$$

и, следовательно, между показаниями счетчика и эффективными амперчасами имеет место следующая зависимость:

$$\frac{Ah_{сч}}{Ah_{эфф}} = K \frac{1}{f_i} \cdot t,$$

где K —некоторый постоянный коэффициент, а f_i —формфактор кривой тока. Так как в условиях осветительных домовых установок пределы колебания формфактора не больше, чем $1,10 \div 1,12$, то, следовательно, погрешность, вызываемая влиянием формы кривой, существенного практического значения иметь не может.

3. Отметим еще как недостаток счетчика то обстоятельство, что он замерзает при температурах ниже нуля.

В заключение в отношении водородного счетчика амперчасов переменного тока автор считает вероятным, что этот счетчик может найти широкое распространение в качестве массового квартирного счетчика, так как при его применении отпадает почти полностью необходимость в постоянной работе мастерских и лабораторий электростанций по ремонту и регулировке счетчиков.

Автор отнюдь не считает завершенной работу по построению электролитического счетчика амперчасов переменного тока; дальнейшая разработка производственного макета, в особенности работа в заводской лаборатории может значительно изменить, улучшить и упростить предложенную автором первоначальную модель. Экспериментальная часть по исследованию электролитического счетчика амперчасов переменного тока была проведена в электрической лаборатории московского филиала Всесоюзного института метрологии и стандартизации; опыты были выполнены сотрудниками лаборатории А. А. Скачковой и Н. Н. Селезевым под руководством автора статьи; а по счетчику ваттчасов—в лаборатории основ электротехники Московского энергетического института.

10/XI—33 г.

НОРМЫ И СТАНДАРТЫ

Временные технические условия на устройства телесигнализации и телеуправления для энергетических систем¹⁾

Приняты на расширенном пленуме Комитета по автоматизации при Главэнерго 23—30 декабря 1932 г. в г. Москве

I. Назначение устройства телесигнализации и телеуправления

1. Назначением устройств телесигнализации и телеуправления являются:

- передача из диспетчерского пункта на контролируемую установку импульсов для управления аппаратами, расположенными на этой установке;
- передача для диспетчерского пункта на контролируемую установку распределительных сигналов;
- передача различных сигналов с контролируемой установки на диспетчерском пункте.

2. В части телеуправления устройства телеуправления и сигнализации должны давать возможность:

- производить включение и выключение масляных выключателей и трэншалтеров;
- изменять положение анцапф трансформаторов с изменением коэффициента трансформации под нагрузкой;
- изменять положение индукционных регуляторов;
- воздействовать на паровые регуляторы и регуляторы возбуждения машин активной и реактивной мощностей и т. п.;
- производить пуск и остановку отдельных агрегатов.

¹⁾ Настоящие временные технические условия ввиду малого эксплуатационного и производственного опыта следует рассматривать как ориентировочные при даче заказов на разработку и изготовление устройств телесигнализации и телеуправления. Технические условия составлены по поручению Комитета по автоматизации.

3. В части распорядительной сигнализации устройства телеуправления и сигнализации должны заменить передачу типовых распоряжений диспетчера по телефону путем передачи таких сигналов, как „развертывайте машину“, „выключайте машину“, „регулируйте частоту“, „возьмите максимальную нагрузку“, „развертывайте аварийный резерв“ и т. п.

4. В части сигнализации с контролируемой установки на диспетчерский пункт устройства телеуправления и сигнализации должны осуществить передачу следующих сигналов:

- положение масляных выключателей и трэншалтеров;
- положение анцапф трансформаторов с изменением коэффициентов трансформации под нагрузкой;
- извещение об исчезновении напряжения и о появлении заземления в сети;
- извещение об исчезновении оперативного тока на контролируемой установке;
- извещение о перегрузках и недопустимых понижениях напряжения в основных точках магистральной системы;
- извещение о недопустимых отклонениях давления пара в котельных и т. п.

II. Общие требования

5. Устройства телеуправления и сигнализации должны иметь несколько исполнений в зависимости от числа контролируемых объектов. Основным исполнением должно являться устройство, рассчитанное на число контролируемых объектов порядка 10—12 шт.

6. Для питания цепей телеуправления и сигнализации должен быть применен постоянный ток, желательно — напряжением не свыше 60 В.

Устройство должно требовать минимального расхода тока.

В качестве источника тока должны быть применены сухие, катодные или ртутные выпрямители тока, работающие параллельно с аккумуляторной батареей.

Выпрямители должны быть рассчитаны на приключение их на напряжение собственного расхода установки (120 ÷ 220 В). Емкость аккумуляторной батареи должна быть выбрана таким образом, чтобы обеспечить работу устройства телеуправления и сигнализации при исчезновении напряжения на шинах собственного расхода установки в течение минимум 1 1/2 час.

7. Устройство должно быть возможно более простым как по своей конструкции, так и в отношении эксплуатационного обслуживания и требовать лишь периодического осмотра, работая без надзора в течение минимум 20—30 дней.

8. Устройство должно быть выполнено в соответствии с существующими электротехническими нормами, причем особое внимание должно быть обращено на предохранение аппаратов телеуправления и сигнализации от попадания высокого напряжения с установок сильного тока или в результате влияния линий высокого напряжения или атмосферных разрядов.

9. Аппаратура, применяемая для устройства телеуправления и сигнализации, должна быть надежной (желательно применение стандартной аппаратуры, уже проверенной многолетним управлением), причем особое внимание должно быть уделено надежной работе контактов.

10. В случае наличия на вспомогательных контактах контролируемых аппаратов напряжения более высокого, чем применяемого для устройства телеуправления и сигнализации (необходимого для дистанционного привода аппаратов, сигнализации их положения на щит управления, защитных цепей и т. п.), вспомогательные контакты аппаратов, предназначенные для целей телеуправления и сигнализации, должны быть отделены от аппаратуры телеуправления и сигнализации специальными промежуточными реле.

11. Устройство должно быть выполнено таким образом, чтобы допускать применение его только для одной сигнализации. При этом дополнительное введение телеуправления не должно требовать сколько-нибудь значительных переделок устройства.

III. Быстрота действия и порядок работы

12. Сигнализация изменения положения контролируемых объектов, передача сигналов и выполнение импульсов управления должны происходить не позже чем через 15—20 сек. после происшедшего изменения или воздействия на управляющие ключи.

13. Передача сигналов и импульсов управления должна происходить последовательно друг за другом. Одновременно возникающие сигналы должны блокироваться и затем передаваться друг другу в определенном порядке. Такое же блокирование должно быть предусмотрено и для импульсов управления в случае воздействия диспетчера на несколько управляющих ключей одновременно.

14. Для предупреждения излишнего износа аппаратов устройство телеуправления и сигнализации должно приходить в действие только при изменении положения аппаратов на контролируемой установке, необходимости передачи и контролируемой установки в диспетчерский пункт каких-либо сигналов или при желании диспетчера произвести какое-либо переключение, передать какой-либо распорядительный сигнал или произвести проверку положения какого-либо из контролируемых аппаратов. В нормальное время устройство должно находиться в спокойном положении, причем в этом положении число катушек реле, обтекаемых током, для уменьшения тока должно быть минимальным. Желательно, чтобы при каждой работе устройства одновременно с передачей импульса управления или сигнала об изменении положения какого-либо одного из контролируемых аппаратов производилась проверка положения всех остальных контролируемых аппаратов.

15. В случае непроизвольной остановки основных аппаратов системы после работы их не в нулевом положении должна быть предусмотрена соответствующая сигнализация этого (как звуковая, так и световая) в диспетчерском пункте, причем должна быть предусмотрена возможность возвращения аппаратов в нулевое положение автоматически или от руки.

В последнем случае эта установка должна производиться как на диспетчерском пункте, так и на подстанции и не требовать больше 20—30 сек.

16. Работа устройства, а также нахождение его в нулевом положении должны указываться специальными световыми сигналами как в диспетчерском пункте, так и на подстанции.

IV. Надежность работы

17. Устройство не должно допускать неправильной сигнализации или неправильного управления при нарушении об работе устройства, при которых возможна неправильная передача, должны немедленно

Желательно, чтобы при этом устройство автоматически возвращалось в нулевое положение и происходила вторичная передача сигнала или импульса управления.

18. В случае непередачи сигнала или импульса управления по каким-либо причинам (загрязнение контактов, неисправности сигнальных приспособлений и т. д.) это должно сигнализироваться в диспетчерском пункте прямыми или косвенным образом. Однако при этом устройство ни в коем случае не должно прекращать работы, и все остальные сигналы, возникшие одновременно с переданными, должны передаваться без всякой задержки.

19. При остановке устройства не в нулевом положении пуск его должен быть невозможен ни автоматически, ни от руки до тех пор, пока устройство не будет поставлено в нулевое положение.

20. При всех установках устройства в нулевое положение в случае нарушения его работы какая-либо передача сигналов или импульсов управления не должна иметь места.

21. Работа устройства должна происходить вполне надежно при колебаниях вспомогательного источника тока в пределах ±10%.

22. При исчезновении напряжения вспомогательного источника тока как в диспетчерском пункте, так и на контролируемой подстанции действие системы должно немедленно прекращаться.

V. Линия связи

23. Устройство должно требовать минимального числа линий связи между диспетчерским пунктом и подстанцией.

При этом число линий связи должно сохраняться одинаковым для всех исполнений, не увеличиваясь с увеличением числа контролируемых аппаратов.

24. Устройства телеуправления и сигнализации должны работать: а) По специальным проводам или жилам стандартных многожильных телефонных кабелей, при использовании соседних для других целей, как, например, для телефонных и телеграфных переговоров, телеизмерения, блокировки и защиты, работы телепишущих машин и т. п.; при этом работа всех устройств не должна вызывать самопроизвольного действия аппаратов телеуправления и сигнализации.

В свою очередь работа аппаратов телеуправления и сигнализации не должна нарушить нормального действия перечисленных выше устройств (оказывать мешающее действие при работе телефона или телеграфа, служить причиной самопроизвольных вызовов, работы блокировочных или защитных приспособлений и т. п.).

б) По проводам, используемым одновременно для других целей; в) При помощи токов высокой частоты по линиям высокого напряжения и по проводам связи.

Выбор того или иного способа передачи должен определяться экономическими соображениями.

25. Работа устройства не должна зависеть от расстояния между диспетчерским пунктом и контролируемой подстанцией и от изменения сопротивления соединительных линий вследствие температурных или атмосферных влияний.

26. В случае применения устройства для районных сетей с большим количеством установок, имеющих каждая небольшое количество контролируемых аппаратов, должна допускаться работа нескольких передающих устройств по одному и тому же каналу связи на одно приемное устройство в диспетчерском пункте.

Сигнализация

27. Сигнализация положения контролируемых аппаратов должна осуществляться или на специальной диспетчерской доске со светящейся или слепой схемой сетей, или на специальных щитах с сигнальными лампочками без схемы. Обозначение положения символов на диспетчерской доске может происходить или при помощи сигнальных лампочек разного цвета, или путем освещения самих символов, или же путем выполнения этих символов изменяющими свое положение. Положение символа или сигнальных лампочек должно всегда совпадать с действительными положениями соответствующих аппаратов.

28. Система телесигнализации должна быть выполнена таким образом, чтобы каждый приходящий сигнал требовал квитирования в диспетчерском пункте, т. е. непосредственного воздействия со стороны диспетчера на органы сигнализации, свидетельствующего о том, что сигнал им воспринят.

29. При изменении положения какого-либо из аппаратов в диспетчерском пункте должно произойти следующее:

а) должен подействовать акустический сигнал (общий для всех контролируемых установок);

б) у соответствующей схемы установки на диспетчерской доске и у соответствующей группы квитировающих ключей, принадлежащих данной установке на диспетчерском пульте, должна загореться сигнальная лампочка, указывающая, что изменение положения контролируемого аппарата произошло на данной установке;

в) у символа на диспетчерской доске и квитировающего ключа на диспетчерском пульте должны загореться белые сигнальные лампочки, указывающие на то, что соответствующий аппарат на контролируемой установке изменил свое положение. Сигнализация изменения положения аппарата может также производиться при

30. После получения светового и звукового сигналов диспетчер должен изменить положение квитирующего ключа на диспетчерском пульте. После этого должно произойти следующее:

а) белые лампочки у квитирующего ключа и соответствующего символа на диспетчерской доске не должны гаснуть, или при применении мигания для обозначения изменения положения аппарата мигание должно прекратиться;

б) сигнальные лампочки на диспетчерской доске и диспетчерском пульте, указывающие установку, на которой произошло положение аппарата, также должны погаснуть;

в) звуковой сигнал должен прекратиться;

г) сигнальная лампочка или цвет освещения символа аппарата на диспетчерской доске или положение самого символа должны измениться согласно новому положению аппарата на центральной станции.

Прекращение звукового сигнала и горение лампочек, сигнализирующих установку, на которой произошло изменение положения аппарата, должно происходить и при помощи воздействия со стороны диспетчера на специальный ключ или кнопку.

31. Включение звукового сигнала и белых лампочек и переключение на мигающий свет должно происходить всякий раз, когда положение аппарата на контролируемой установке будет не соответствовать положению квитирующего ключа в диспетчерском пункте. Желательно, чтобы включение звукового сигнала и белых лампочек или герекключение на мигающий свет происходило не только в случае изменения положения контролирующего аппарата, но также в случае случайного или преднамеренного изменения положения квитирующего ключа в диспетчерском пункте.

32. При передаче сигналов об исчезновении напряжения, о появлении замыкания в сети, об исчезновении оперативного тока, о перегрузках, недопустимых отклонениях давления пара в котельных и т. п. должны:

а) действовать акустический сигнал, отличающийся от акустического сигнала, получающегося при изменении положения аппаратов;

б) действовать оптический сигнал на диспетчерской доске или специальном сигнальном щите (загореться сигнальная лампочка или выпасть блинкер).

Зрительный сигнал должен оставаться в течение всего времени существования ненормального режима. Звуковой же сигнал должен прекращаться после нажима диспетчером соответствующей специальной кнопки или поворота специального ключа.

В случае светящейся схемы диспетчерской доски, зависящей от напряжения, сигнал об исчезновении напряжения должен действовать непосредственно на освещение соответствующих элементов в схеме.

Управление

33. Управление аппаратом на контролируемой установке должно разбиваться на две операции: подготовительную, служащую для того, чтобы диспетчер мог по положению командных приспособлений и сигналов проверить правильность действий, намеченных к исполнению, и исполнительную.

Подготовительная операция должна совершаться при помощи управляющего ключа, исполнительная же—при помощи главного ключа.

34. При повороте управляющего ключа должно произойти следующее:

а) система телеуправления должна притти в действие;

б) сигнальная лампочка или цвет освещения символа аппарата, на которой диспетчер хочет действовать, должны изменяться согласно новому положению аппарата;

в) должны загореться белые сигнальные лампочки у соответствующего символа аппарата на доске и у квитирующего ключа на пульте, или произойти переключение сигнальных лампочек или пульта на мигающий свет; одновременно должны загореться сигнальные лампочки у подстанции или станции на диспетчерской доске и у соответствующей группы ключей на пульте;

г) должен действовать звуковой сигнал.

Указанные сигналы должны дать диспетчеру возможность проверить правильность принимаемого переключения.

35. Пуск систем при телеуправлении может происходить и путем нажима после поворота управляющего ключа на специальный пусковой ключ.

36. После поворота главного ключа должен быть послан сигнал управления и произойти желаемое переключение.

37. Прекращение горения лампочек у квитирующего ключа и у соответствующего символа на диспетчерской доске и сигнальных лампочек, указывающих установку, на которой происходит переключение, должно происходить только после получения обратного сигнала о выполнении операции автоматически или при нажмении на специальную кнопку.

38. При осуществлении телеуправления система не должна допускать так называемых „качаний“ аппаратов, т. е. не допускать повторений посылок сигнала управления при возвращении после выполнения им первого импульса управления вследствие каких-либо причин в прежнее положение (например, при включении масляного выключателя на короткое и последующее выключение его под действием задержки), если подобное предупреждение не придет.

39. При обнаружении после поворота управляющего ключа неправильности принимаемой операции диспетчер должен иметь возможность возвратить управляющий ключ в прежнее положение без посылки импульса управления.

40. Управляющий ключ может быть совмещен с квитирующим. Однако в этом случае операции управления и квитирувания должны происходить отдельно и взаимно блокироваться.

I. Распорядительные сигналы

41. Передача распорядительных сигналов должна так же, как и телеуправление, разбиваться на две операции: подготовительную и исполнительную, производимые двумя ключами: сигнальным и главным.

42. При повороте сигнального ключа в диспетчерском пункте на специальном щите должен появиться оптический сигнал, указывающий, куда и какой именно сигнал посылается. Этот оптический сигнал должен оставаться до тех пор, пока посланный распорядительный сигнал не будет принят дежурным персоналом станции и подстанции.

43. При повороте главного ключа (этот ключ может быть совмещен с главным ключом для телеуправления) должно произойти следующее:

а) система должна притти в действие, и распорядительный сигнал должен быть передан на станцию или подстанцию;

б) на контролируемой установке должен действовать звуковой сигнал, и на сигнальном щите или у аппарата, к которому относится передаваемое распоряжение, появиться оптический сигнал с указанием существа распоряжения.

44. Полученный сигнал должен быть квитирован дежурным персоналом установки путем нажима или поворота специального квитирующего ключа. При воздействии на этот ключ должно произойти следующее:

а) на контролирующей установке—исчезнуть оптический сигнал и прекратиться звуковой сигнал;

б) в диспетчерском пункте—исчезнуть оптический сигнал; звуковой сигнал может прекращаться и до квитирувания путем нажима на специальную кнопку.

5. Если после посылки приказаний до их исполнения потребуется отменить посланные приказания, то диспетчер указанным выше путем посылает специальный сигнал „отбой“. При посылке этого сигнала должно производиться следующее:

а) все световые сигналы, указывающие на посланные ранее распоряжения, должны исчезнуть как в диспетчерском пункте, так и на контролируемой установке;

б) на сигнальных щитах в диспетчерском пункте и на контролируемой установке должен появиться оптический сигнал „отбой“, причем на контролируемой установке появление этого сигнала должно сопровождаться резким звуковым сигналом, отличным от звукового сигнала при передаче распоряжений;

в) оптический сигнал „отбой“ в диспетчерском пункте и на контролируемой установке, а также звуковой сигнал на контролируемой установке должны действовать до тех пор, пока дежурным персоналом установки не будет повернут квитирующий ключ сигнала „отбой“.

II. Внешнее выполнение

46. Устройство телеуправления и сигнализации должно состоять из трех частей:

а) аппаратов, устанавливаемых на контролируемой установке;

б) аппаратов, устанавливаемых в диспетчерском пункте;

в) доски, или пульта, с квитирующими и управляющими ключами.

47. Аппараты, устанавливаемые на подстанции и в диспетчерском пункте, должны быть смонтированы в шкафах или же собраны на штативах и иметь соответствующую защиту от сырости и пыли.

48. Монтаж аппаратуры должен быть выполнен таким образом, чтобы была обеспечена возможность легкого осмотра и замены отдельных аппаратов, причем замена аппаратов в индивидуальных цепях должна происходить по возможности без остановки системы.

49. Квитирующие и управляющие ключи должны быть расположены на доске с достаточным расстоянием друг от друга, чтобы при воздействии на один из ключей другие ключи не могли быть задеты. Головки ключей должны быть приспособлены для прикрепления к ним номера или обозначения, присущего соответствующему аппарату на подстанции или станции. При отдельном выполнении управляющего и квитирующего ключей они должны быть расположены на доске рядом друг с другом, но по внешнему виду значительно отличаться друг от друга. Сигнальные лампочки, расположенные около ключей, должны быть отчетливо видны. Квитирующие и управляющие ключи должны быть сгруппированы на доске по отдельным подстанциям и станциям.

50. На доске с ключами помимо квитирующих и управляющих ключей и их сигнальных лампочек должны быть смонтированы сигнальные ключи для посылки распоряжений, сигнальные лампочки, указывающие подстанцию, на которой произошло переключение, главный ключ пуска и ключ для отдельных устройств, сигнальные лампочки, сигнализирующие работу, и нулевое положение устройства.

Комитет по автоматизации при Главэнерго

Временные технические условия ¹⁾ на электрические устройства телеизмерения в энергетических системах

(Утвержденные на пленуме Комитета по автоматизации при Главэнерго 27—30 мая 1933 г.)

I. Определение и назначение устройств телеизмерения

1. Измерительные устройства называются телеизмерительными (т. е. дальне-измерительными), когда для увеличения расстояния, разделяющего место производства замера от места прочтения его результатов, недостаточно простого удлинения проводов и применяются специальные мероприятия, не нужные при измерениях на более короткие расстояния.

Примечание. К числу устройств телеизмерения часто относят устройства для сравнения измеряемой величины с заданной в пределах одной установки или в пределах системы, служащие для целей регулирования (регулирующие синхронные часы, телерегуляторы и т. п.).

Этот вид оборудования настоящими техническими условиями не охватывается, так как он относится к устройствам автоматической телерегулировки и, следовательно, предъявляемые к нему технические условия должны быть разработаны как части технических условий на устройства автоматической телерегулировки.

2. Назначением устройств телеизмерения является:

а) передача значений переменных величин из контролируемой установки на диспетчерский пункт (известительная).

Примечание. Здесь и дальше везде под словом "диспетчерский пункт" подразумевается любой дежурный пункт управления системой или частью системы.

б) передача значений переменных величин на щит управления станций или подстанций из других частей системы для ориентировки дежурного персонала станции (или подстанции) в том, какой режим работы установки следует поддерживать (распорядительная).

II. Общие требования

3. Устройства телеизмерений должны давать возможность получить на приемном конце один из следующих результатов:

а) непрерывное измерение значений измеряемой величины (перманентное);

б) измерение значений одной из нескольких измерений измеряемых величин по выбору диспетчера (спорадическое);

в) поочередное периодическое измерение нескольких измеряемых величин (циклическое).

4. Устройства телеизмерения должны требовать на всех случаях минимального количества каналов связи. Однако в зависимости от сравнительной стоимости каналов связи и устройств телеизмерения при разных расстояниях от объекта телеизмерения до приемного прибора возможны разные решения, поэтому устройства телеизмерения должны изготавливаться в расчете на следующие пять возможных видов обеспечения устройства каналами связи;

а) для измеряемой величины возможно использовать отдельный сквозной металлический, в том числе фантомный, канал связи;

б) один сквозной металлический канал связи должен быть использован для ряда измеряемых величин, передаваемых по очереди;

в) для измеряемой величины возможно использовать отдельный канал связи любого вида (металлический сквозной или санкционированный разделительными трансформаторами, подтональный, высоко-частотный и т. д.);

г) один канал связи любого вида должен быть использован для ряда поочередно измеряемых величин;

д) один канал связи любого вида должен быть использован спорадически для телеизмерения и для других целей (телеуправления, телесигнализации, телерегулировки и т. п.).

Род тока, напряжение и характер источников питания должны выбираться, исходя из следующих соображений:

а) при авариях силовой системы, системы собственного расхода на установке, вызывающих исчезновение на установке рабочего переменного тока, питающие устройства должны обеспечивать нормальную работу устройств телеизмерения не менее $1\frac{1}{2}$ час.

Примечание. В зависимости от условий заказа эти условия могут быть изменены по соглашению,

б) аккумуляторные батареи, питающие цепи релейной защиты на станциях и подстанциях, не могут быть использованы для питания основных цепей устройств телеизмерения;

в) число источников тока, питающих устройства телеизмерения, должно быть сведено к минимуму и не более трех на каждом пункте;

г) для уменьшения числа разных источников вспомогательного тока на установках желательно, чтобы устройства телеизмерения

могли питаться от тех же источников, что и устройства телеуправления, телесигнализации, телефонной связи и прочих устройств телемеханики.

Примечание 1. Из этих соображений желательно изготовлять устройства телеизмерения, рассчитанные на питание стандартными напряжениями телефонных батарей и радиобатарей.

2. В зависимости от требований эксплуатации при заказе условия п. 5 могут быть изменены по соглашению.

6. Устройства должны быть возможно более простыми как по своей конструкции, так и в отношении эксплуатационного обслуживания и требовать лишь периодического осмотра, смены ламп, зачистки контактов и т. п. (исключая источник питания), работа без надзора в течение не менее 20 дней.

7. Устройства должны быть выполнены в соответствии с существующими электротехническими нормами, причем особое внимание должно быть обращено на предохранение аппаратов и приборов телеизмерения, а также обслуживающего персонала от попадания высокого напряжения с установок сильного тока или в результате влияния линий высокого напряжения или атмосферных влияний.

8. Аппараты, приборы и прочие детали, применяемые для устройств телеизмерения, должны быть надежными (желательно применение стандартных деталей устройства, проверенных длительным употреблением). Особое внимание должно быть уделено надежной работе контактов.

9. В устройствах телеизмерения должна быть предусмотрена удобо-заменяемость сменяемых частей, ламп и т. п.

10. Устройства телеизмерений должны работать с оговариваемыми в разделе III настоящих условий пределами устойчивости, погрешности и бесперебойности показаний вне зависимости от следующих случайных обстоятельств;

а) происходящих по причине метеорологических условий (мороз, дождь, туман и т. п.), изменений сопротивления и изоляции цепей связи, используемых для устройства телеизмерения;

б) изменений напряжения питания вспомогательным источником тока в пределах $\pm 10,0\%$;

в) во всех случаях различного использования различных каналов связи устройства телеизмерений, с одной стороны, не должны нарушать нормальную работу устройств телесигнализации, телеуправления, телефона, телерегулировки и других устройств, работающих по тем же или смежным каналам связи, с другой стороны, работа всех этих устройств не должна отражаться на нормальной работе телеизмерений;

г) погрешность устройств телеизмерения должна оставаться в пределах, оговариваемых в разделе III настоящих условий при изменении частоты питающего переменного тока в пределах $\pm 4\%$.

11. Изготавливаемые устройства телеизмерения должны базироваться на применении детально разработанных и проверенных эксплуатационных принципов действия.

Примечание. Этим отнюдь не возбраняется опробование в эксплуатации опытных образцов, использующих новые принципы действия при условии соответствующего предупреждения заказчика.

III. Телеизмерительные установки

12. Устройства телеизмерения должны допускать монтаж как в виде специальных установок по особому заказу, так и в виде стандартных установок для телеизмерения отдельных величин или комплексной передачи групп измерений известительного и распорядительного характера.

13. Для извещения диспетчерского пункта в величинах, мгновенное значение которых знать необязательно, непрерывное измерение которых не необходимо, и если нет надобности в установке самопишущих приемных приборов, должны изготавливаться или в виде циклических телеизмерений или в виде спорадических телеизмерений (см. п. За и б).

а) К числу таких величин относятся активные и реактивные мощности, а также сила тока нагрузки линий передач и трансформаторов, напряжения с шин станций и подстанций, реактивные суммарные нагрузки станций, частоты и возможные некоторые добавочные величины для отдельных конкретных случаев.

Примечание. Телевольтметры и телечастотомеры такой установки не могут служить для точной регулировки частоты и напряжения, они нужны для сравнительно большего количества точек системы и рассчитаны на грубую регулировку напряжения и ориентировку диспетчера при аварии.

Телеизмерения также в некоторых из прочих перечисленных величин могут иногда потребоваться в виде перманентных измерений.

¹⁾ Настоящие временные технические условия ввиду малого эксплуатационного опыта следует рассматривать как ориентировочные при даче заказов на разработку и изготовление телеизмерительных устройств. Технические условия, составленные по распоряжению Комитета по автоматизации при Главэнерго, являются обязательными для исполнения.

позднее чем через 5 сек., после того, как установится прямая связь от передатчика через линию и устройства телесигнализации до приемника;

г) приемные приборы для этих установок должны иметь шкалу: для частотомеров—от 90 до 104% номинала, для вольтметров—от 0 до 120% и для прочих величин—на полные пределы изменения нагрузок.

д) Погрешность телепередачи не должна превышать 2%, а суммарная погрешность не должна превышать 3,5% для вольтметров и 4% для прочих измеряемых величин.

Суммарная погрешность составляется из двух слагаемых:

1) погрешности измерительного прибора, по которому производится подсчет на щите управления установки; эта погрешность должна отвечать нормальным требованиям ОСТ 5236;

2) погрешности телепередачи есть расхождение между показаниями вышеуказанного прибора и показаниями приемного телеизмерительного прибора, выраженные в процентах от диапазона измерений последнего.

Примечание. Суммарная погрешность телеизмерительной установки есть погрешность всего устройства за исключением измерительных трансформаторов, выраженная в процентах диапазона измерений приемного прибора;

е) приемные приборы на диспетчерских пунктах должны иметь переключатели на разные объекты телеизмерений или от стоящих в соседней комнате индивидуальных приемных приборов каждого объекта при циклической системе передачи или с помощью устройства телесигнализации и телеуправления при спорадической системе;

ж) установка должна давать устойчивые показания в пределах всей шкалы каждого прибора за исключением суммарного измерителя реактивной мощности, у которого устойчивые показания нужны в пределах от 10 до 110% от полного номинала реактивной мощности каждой установки.

Примечание. Неустойчивостью не считается периодическое закономерное колебание стрелки в пределах 1% шкалы.

14. Самопишущие телечастотомеры для точной записи кривой регулировки частоты в системе должны изготавливаться в виде устройства с перманентным измерением:

а) Шкала измерений должна охватывать диапазон от 49,0 до 51,0 пер/сек.

б) Суммарная погрешность допустима не свыше 3% от диапазона шкалы измерения.

в) Показания должны быть устойчивыми в пределах полной шкалы приемного прибора.

Примечания: 1. У всех самопишущих приборов диспетчерского пункта желательно предусмотреть общий привод движения ленты для полной сравнимости записи во времени.

2. Самопишущие частотомеры для анализа аварий с автоматическим переключением движения ленты на другую скорость могут изготавливаться не в виде телеизмерительных приборов.

15. Самопишущие телечастотомеры для наблюдения диспетчера за кривой частоты в малом числе точек системы при авариях должны изготавливаться на шкалу измерения от 45 до 52 пер/сек с допустимой ошибкой не свыше 4% от диапазона шкалы измерения и с устойчивыми показаниями в пределах полной шкалы приемного прибора.

16. Индивидуальные телекиловаттметры для измерения нагрузки станций должны допускать перманентное телеизмерение с возможностью суммирования на приемном и передающем концах и наличие:

а) на щите управления станции суммарных приборов указывающего или самопишущего типа—одного для всех генераторов или по группам генераторов плюс отдельно общая сумма (в зависимости от требования заказа);

б) в машинном зале и в котельной измерения тех же величин—приборы указывающего типа большого размера с теневой шкалой;

в) на диспетчерском пункте измерения тех же величин—приборы самопишущего или указывающего типа или оба вместе;

г) необходимых условий: суммарная погрешность не более 4% от полного диапазона измерений, устойчивость измерений в пределах от 10 до 110% от номинальной нагрузки при $\cos \varphi$ в пределах от 0,8 до 1,0 и с добавочной погрешностью согласно ОСТ в случае $\cos \varphi = 0,8$.

17. Установка телекиловаттметров для автоматического распределения нагрузок между станциями должна допускать перманентное телеизмерение с возможностью суммирования на приемном и передающих концах, а именно:

а) на щитах управления, в машинном зале, в котельной—те же приборы, что по пп. „а“ и „б“ предыдущей установки;

б) на диспетчерском пункте—приемный прибор с каждой станции (один или по группам в зависимости от условий заказа) и, кроме того, 3÷4 прибора для суммирования мощностей нагрузок групп станций, всех станций вместе или совместно с мощностями, притекающими в систему по соединительным линиям, в зависимости от условий заказа и с возможностью комбинирования слагаемых по выбору диспетчера, с возможностью для диспетчера произвольно изменить эти суммы на любую величину или вообще устанавливать на этих суммарных приборах любую величину;

в) на щитах управления станции—приборы указывающего типа, на которые передаются показания одного из общих суммарных приборов диспетчерского пункта по выбору диспетчера;

г) необходимые условия те же, что в п. 16.

18. Части устройств, предназначенных для прочтения по ним показаний, должны изготавливаться в зависимости от заказа в месте установки в виде:

а) самопишущих приборов с установкой на щите или на стене;

б) самопишущих приборов для записи нескольких величин одновременно на одной ленте с установкой на щите или на стене;

в) указывающих приборов круглого типа для установки на панелях и колонках щитов управления;

г) указывающих приборов плоского типа с выпуклой шкалой для установки на диспетчерском столе;

д) указывающих приборов большего размера с теневой шкалой для установки в машинном зале или котельной;

е) указывающих приборов миниатюрного типа или установки на миниатюрных щитах телеуправления

19. Части устройств, предназначенные для непосредственного воздействия на них диспетчера при распорядительных телеизмерениях, должны быть предусмотрены в виде запираемых рукояток небольшого размера с указанием делений непосредственно в измеряемых единицах или с воздействием на специальные добавочные стрелки на указывающих приборах.

20. Все части устройств, не предназначенные для прочтения показаний для непосредственного воздействия диспетчера, должны изготавливаться для монтажа на железных штативах вне пределов дежурных помещений или распределительных устройств в специальных запираемых и отапливаемых помещениях для оборудования реле, телемеханики и связи, защищенных от проникновения в них пыли, сырости, пара (при повреждении паропроводов), масла или взрывных газов (при взрывах масляных выключателей) и т. п.

Если такое помещение на установке не предусмотрено, то перечисленные в п. 22 части устройства должны изготавливаться для монтажа в сухих отапливаемых помещениях в шкапах или кожухах, защищающих их от пыли.

21. В случае необходимости монтажа каких-либо частей устройств в неотопливаемых помещениях или на открытом воздухе они должны снабжаться водонепроницаемыми железными шкафами или ящиками и конструироваться таким образом, чтобы изменения температуры или возможные отпотевания сырости не влияли на качество работы устройства (погрешности, устойчивость и бесперебойность работы, оговариваемые в соответствующих пунктах раздела III настоящих условий, и не увеличивали потребности в надзоре свыше норм, оговоренных п. 6 в разделе II настоящих условий.

16/XII—33 г.

БИБЛИОГРАФИЯ

М. И. СЛАВНИН, „Коммутация современных электрических станций“. Госэнергоиздат, Москва, Ленинград, 1933 г. Тираж 6.000 экз., стр. 244, 132 рис. в тексте, ц. 4 р. 25 к. Высококвалифицированный читатель

Рецензируемая книга представляет собой, главным образом, изложение материалов, разработанных стандартно-техническим управлением треста „Теплоэлектропроект“. Эти материалы представляют большой интерес как систематизированный опыт последних двух лет первой пятилетки крупнейшей проектной организации „Теплоэлектропроект“, а в области проектирования—схем коммутации мощных и сверхмощных электрических станций. И этот материал тем более интересен, что в конце первой пятилетки трест, за отсутствием опыта в Европе и частично используя опыт Америки для самостоятельных и оригинальных решений в области ком-

Весь материал книги разбит на 10 глав. В первых трех главах автор говорит:

1. О схемах коммутации электрических станций; приводит таблицы с основными характеристиками союзного оборудования применяемых при коммутации электрических станций, как-то: масляных выключателей, раз'единителей, трансформаторов тока, реакторов; также приведен проект стандарта на генераторы и силовые трансформаторы.

2. О некоторых методах расчета токов короткого замыкания и выбора аппаратуры.

3. Об основных требованиях, предъявляемых к главным схемам коммутации и условиям, определяющих тип схемы электростанции.

Схемам коммутации станций с раз'ачей мощности на высоком напряжении (110 и 35 kV) мощностью до 250 MW посвящена гл. IV

ций с повышенной мощностью (500—600 MW) и с распределением энергии на высших напряжениях. Коммутации станций с преимущественным распределением энергии на генераторном напряжении отведена гл. VI.

Схемы сверхмощных станций разобраны в гл. VII. Содержанием гл. VIII являются схемы станций с синхронизацией через нагрузку генераторного напряжения. Особенности схем коммутации станций с двухмоточными генераторами описаны в гл. IX. И, наконец, методы контроля и измерений на электрических станциях приводятся в гл. X.

Детальное рассмотрение отдельных глав показывает различную степень их полноты и разработки материала. Глава, посвященная токам короткого замыкания, содержит материал для приближенного расчета токов короткого замыкания.

Даны основные понятия о процентном и омическом методах подсчета токов короткого замыкания, проделан конкретный числовой пример для сравнения обоих способов расчета токов короткого замыкания как для мгновенных значений тока короткого замыкания, так и для установившегося и переходного режимов.

Приведены таблицы кратностей тока короткого замыкания фирмы Вестингауз. Рассматривается влияние реактора на снижение величины тока короткого замыкания и на поддержание напряжения при секционировании сборных полюсов станций. К недостаткам главы нужно отнести отсутствие числового примера подсчета токов короткого замыкания по немецким нормам, не указан метод выбора величины базисной мощности, неправильный выбор которой приводит часто к неправильным результатам. Относительно полно описана типовая схема коммутации районной станции с раздачей энергии на высоком напряжении мощностью до 250 MW (схема разрабатывалась в „Теплоэлектропроект“ и опубликована в журнале „Электрические станции“ № 4 за 1932 г. Вначале выясняется соотношение мощностей 110 и 35 kV, дается краткая характеристика генераторов и трансформаторов, схема джемперного устройства, способ снабжения собственного расхода при помощи оттайки от клемм генераторов. Проведен подробный расчет токов короткого замыкания и приведены таблицы для токов короткого замыкания в различных точках схемы коммутации, а также дана подробная опись контрольно-измерительных приборов. В конце главы проводится однолинейная схема коммутации Южской грэс. Добросовестно описав схему типовой районной электростанции, автор не дал самого важного для учебного пособия энергетических вузов—это метода построения схем коммутации рэс, не показал на конкретных примерах анализа выполненных станций влияния на схему коммутации таких важнейших факторов, как устойчивость параллельной работы генераторов между собой и с системой; технико-экономические соображения и своевременные технические возможности заводов-изготовителей оборудования.

Между тем, только показав и выяснив на конкретных примерах влияние этих факторов на схемы коммутации, будет понятно, почему на некоторых районных станциях без потребителей на генераторном напряжении появляются сборные полюсы и соответствующая коммутационная аппаратура на генераторном напряжении (например Свирь, Ashtabula Cleweland Electric Illuminating Co и др.).

Кроме того, необходимо отметить, что недостаточно обоснован вопрос о наиболее выгодном и надежном питании резервного хаустрансформатора на районных станциях с преимущественным распределением энергии на напряжениях 110 и 35 kV. Как показывают практика проектирования и опыт эксплуатации подобных районных электростанций, наибольшую надежность резервирования питания собственного расхода может обеспечить хаустрансформатор, присоединенный к шинам 110 kV.

Также подробно описаны схемы коммутации с преимущественным распределением энергии на генераторном напряжении (тема разработана в „Теплоэлектропроект“ и опубликована в журнале „Электрические станции“ № 4 за 1932 г.). Приводится подробное сравнение двух основных схем—кольцевой и радиальной, анализируется вопрос о влиянии реакторов различной пропускной мощности и различных величин реактанцев на величины токов короткого замыкания и также на поддержание остаточного напряжения на сборных шинах при коротких замыканиях в сети. После подробного расчета тока короткого замыкания для различных точек радиальной схемы коммутации станции приводится однолинейная типовая схема и схема коммутации Магнитогорской и Славянской теплоэлектростанций.

Остальные главы о других типах схем коммутации разработаны поверхностно, схематически, на основании недоработанных материалов Теплоэлектропроекта, а также иностранных журналов.

Очевидно, вследствие спешки с изданием этой книги в ней не нашло отражения применение группового фидера в схемах коммутации станций с преимущественным распределением электрической энергии с шин генераторного напряжения, давно применяемого в практике американских станций, разработанных также и Теплоэлектропроектом и примененных в Союзе на Сталинской и Закамской тэц, а также их некоторая разновидность на Кизеловской районной станции. Применение группового фидера дает значительную экономию на коммутационной аппаратуре и увеличивает надежность снабжения потребителей электрической энергии. Также об этом автором подробно разобран последовательности и расположения оборудования

акторов союзного изготовления выявила их значительную ненадежность, а это в свою очередь влияет на выбор разрывной мощности масляного выключателя и всей схемы коммутации как всей станции, так и последовательности размещения аппаратуры фидера.

Полностью отсутствует анализ проблемы коммутации мощных и сверхмощных станций по принципу агрегатности котел-турбина-генератор-трансформатор-линия передачи. Это тем более важно, что принцип агрегатности за последние годы широко обсуждается крупнейшими специалистами Америки и в условиях социалистического хозяйства имеет большое значение для осуществления стандартизации мощных и сверхмощных районных электростанций.

Не отмечены также и особенности схем коммутаций гидроэлектрических станций, отличающихся от тепловых электрических станций в части источников питания собственного расхода станций, а также в области коммутации сборных шин на генераторном напряжении. Между тем на визконапорных станциях приходится дробить мощность генераторов на сравнительно маломощные единицы для уменьшения окружных скоростей до допустимых пределов; по технико-экономическим же соображениям мощность трансформаторов обычно бывает целесообразно укрупнить, присоединяя к нему два и более гидрогенераторов. Отсюда появляется необходимость связи гидрогенераторов на генераторном напряжении даже при отсутствии потребителей на этом напряжении.

Автором не разобраны электрические станции и теплоэлектростанции малой мощности с агрегатами от 1,5 до 6 MW, обслуживающие коммунальные и фабрично-заводские предприятия, связанные и не связанные с мощной сетью. Известно, что схемы коммутации подобных станций требуют своеобразных решений в установке реакторов, а также в способах поддержания напряжения на сборных шинах при коротких замыканиях в сети.

Отсутствие материала, посвященного схемам коммутации мелких и средних мощностей электрических станций переменного тока, в методическом отношении не выдерживает критики и сильно затруднит студентам и техникам усвоение принципов проектирования схем коммутации.

Перечисленные существенные пробелы делают книгу, посвященную схемам коммутаций электрических станций, неполной и в значительной мере ее обесценивают как учебное пособие для вузов.

Автор дает в книге и ряд ошибочных утверждений: так, например, на стр. 84 говорится о том, что при включении нулевых вольтметров и измерительных приборов на общий трансформатор напряжения заземление на вторичной стороне трансформатора напряжения поставит персонал станции перед вопросом, где же произошло заземление—на стороне 35 kV или 110 V, и что это можно будет обнаружить лишь путем последовательного отключения измерительных приборов и что поэтому следует избегать присоединения измерительных приборов к тем же трансформаторам напряжения, которые служат для приборов контроля изоляции. Все это рассуждение явно неправильно. При заземлении на вторичной стороне трансформатора напряжения с заземленной нейтралью перегорит предохранитель на низкой стороне и нулевой вольтметр перевернувшейся фазы будет показывать нуль, а остальные будут показывать фазовое напряжение, что вполне определит характер заземления и не вызовет никаких сомнений о месте происшедшего заземления.

Далее, на стр. 88, допускается возможность выключения холостого хода трансформатора при помощи раз'единителя, что нужно категорически отвергнуть как опасную операцию, могущую привести к аварии на станции.

Совершенно недопустимо искажение установок, принятых Теплоэлектропроектом при проектировании типовых схем рэс, допущенное автором на стр. 99, где им рекомендуется для собственных нужд рэс взамен масляного выключателя ВМ-14 на 3 kV, который удовлетворяет расчетным данным по всем своим техническим параметрам, брать для большей надежности следующий более дорогой тип масляного выключателя ВМ-22, требующий для своего изготовления большого количества металла и дефицитных материалов. Такую же беззаботность в отношении экономических факторов, влияющих на схему коммутации и выбор аппаратуры, проявляет автор на стр. 101, где он утверждает, что экономия на масляниках 220 kV является незначительной, в то время как стоимость одной ячейки на 220 kV в настоящее время достигает 650—750 тыс. руб., и это сильно влияет на выбор схемы коммутации станций (например, Свирская гидростанция).

Неправильно также утверждение, приведенное на стр. 123, о том, что на тэц мощность трансформаторов первой группы из устанавливаемых на станции должна равняться мощности генератора. Такое соотношение при дальнепривозном топливе чаще оказывается невыгодным на станции, где основной нагрузкой является тепловая нагрузка, а не электрическая, и выгоднее бывает установить турбины без конденсационного „хвоста“.

К относительно мелким недостаткам нужно отнести:

- 1) устарелость таблиц аппаратуры; 2) отсутствие четкости в обозначениях реактанцев трехмоточных трансформаторов на стр. 38, сильно затрудняющее понимание текста; 3) в списке измерительных приборов тепловой районной станции, на стр. 93 не указан вольтметр реактивной мощности; 4) книга издана небрежно, с большим количеством опечаток, часто искажающих смысл текста, как, например,

Основным недостатком книги, как мы уже показали, является отсутствие методического изложения предмета, при котором были бы выявлены и показаны на конкретных примерах основные моменты, влияющие и определяющие схему коммутации.

Без этого книга остается скорей сухим описанием изложения отдельных уже принятых решений без развернутого анализа их возникновения.

И только в качестве материала для работы под соответствующим руководством книга, несмотря на ряд указанных недостатков, может быть рекомендована для пользования студентами энергетических вузов.

В заключение надо отметить, что разработка и изложение содержания, соответствующие названию рецензируемой книги „Коммутация современных электрических станций“, очевидно, по плечу только коллективу сотрудников Теплоэлектропроекта и Гидроэлектропроекта. Проявив некоторую инициативу в привлечении и поощрении коллективного творчества, Энергоиздат мог бы получить действительно доброкачественный и полный материал в области коммутации электрических станций, в котором так сильно нуждаются электротехники Союза, работающие по рэс.

Инж. Чалидзе И. М.

Инж. Квири И. И.

Инж. Двоскин Л. И.

А. С. КАСАТКИН, Руководство к практическим занятиям в лаборатории переменных токов. ОНТИ, Энергоиздат, 1933 г., 231 стр., 190 рис., тираж 5000 экз., цена 3 р. 25 к.

Рассматриваемое руководство является 3-м изданием, значительно переработанным и дополненным, руководством к лабораторным занятиям по переменному току, изданному автором в 1926 и 1929 гг. Оно содержит в себе следующие задачи:

1) Точные измерения малых мощностей при переменном токе. 2) Измерение индуктивности катушки с железом по способу трех вольтметров. Измерения по способу трех амперметров. 3) Искусственные схемы: схема Гуммая и схема Гейгера, исследование этих схем, проверка индукционного ваттметра по схеме Гейгера. 4. Мостик Уитстона при переменном токе. Измерение индуктивности и емкости. 5) Резонанс напряжений. Исследование резонанса напряжений при переменных частоте, емкости, индуктивности. 6) Резонанс токов. Резонанс токов при переменной индуктивности, емкости (компенсация сдвига фаз). 7) Феррорезонанс напряжений. Исследование феррорезонанса напряжений при изменении напряжения на зажимах цепи и при переменной емкости. 8) Феррорезонанс токов. 9) Исследование магнитных свойств железа при помощи аппарата Эйнштейна. Определение потерь $P_{жс}$. Разделение потерь. Исследование потерь при постоянном напряжении и переменной частоте. 10) Снятие кривых мгновенных значений переменного тока при помощи контактного диска. 11) Трехфазный ток. Равномерная и неравномерная нагрузки трехфазной системы при соединении в звезду. Смещение нулевой точки звезды нагрузки. Определение порядка следования фаз. 12) Соединение треугольником. Равномерная и неравномерная нагрузки. Открытый треугольник. 13) Измерение мощности трехфазного тока одним ваттметром. Искусственная нулевая точка. Делитель напряжения. Ваттметр с 60° сдвигом. 14) Способ Арона. 15) Схема замещения трансформатора. Определение постоянной схемы замещения и W_1/W_2 . 16) Исследование круговых диаграмм П-образной схемы замещения линии передачи энергии. 17) Вращающееся магнитное поле. Исследование крутящего момента вращающегося поля двухфазного тока. Исследование вращающегося поля (кругового и эллиптического) двухфазного и трехфазного токов. 18) Переходные явления в электрических цепях с сосредоточенными постоянными.

Цепь R и C. Заряд постоянными и переменными напряжениями. Разряд. Измерение R в цепи переменного тока.

По указанию автора руководство составлено в основном применительно к лаборатории МЭИ им. Молотова.

Руководству предпослано предисловие и указание на общий порядок выполнения работ в лаборатории, достаточно четко ставящие вопросы.

Однако по нашему мнению во второй части имеются два небольших упущения. В пункте первом необходимо вставить: „... прочесть заранее описание работы и теорию вопроса по основному руководству и...“. В пункте втором: „... определить назначение отдельных приборов, записать их данные...“.

Автором принят и достаточно отчетливо выдержан во всех задачах следующий порядок описания работ: а) постановка вопроса; б) основные теоретические сведения с достаточным количеством хорошо продуманных и хорошо выполненных диаграмм и схем; в) в нужных местах краткие пояснения относительно применяемых приборов; д) описание производства самой работы; е) план работы, снабженный соответствующей таблицей. Изложение—достаточно ясное и при чтении не вызывает затруднений за исключением отдельных мест, о которых будет упомянуто ниже. Выбор задач надо считать весьма удачным и могущим в сильной степени помочь усвоению такого трудного предмета, как теория переменных токов.

Введение работы с аппаратом Эйнштейна, вращающимся магнитным полем и элементарных работ по переходным явлениям необходимо.

что в указанном списке отсутствуют работы, являющиеся весьма важным при проработке теории переменных токов.

Нет весьма простых, но с методической стороны основных работ, последовательное и параллельное соединения катушек самоиндукции и емкостей (см., например, Калантаров П. Л., стр. 51 и 56). По нашему мнению эти работы должны быть первыми работами, с которыми имеет дело студент в лаборатории.

В той же лаборатории МЭИ аналогичная работа по постоянному току имеется. Отсутствует работа: взаимная индукция и коэффициент связи (см., например, Грун, Лабораторные измерения по электротехнике, задача 32). А ведь понятие взаимной индукции усваивается не слишком легко.

Далее, в настоящее время является совершенно непонятным отсутствие хотя бы элементарных работ с применением метода симметричных составляющих, знакомящих с идеей фильтров для выделения отдельных составляющих. Очевидно, нельзя отвергать того положения, что лаборатория должна учитывать в известной мере специфические требования отдельных специальностей и ставить некоторые дополнительные задачи. Так, например, для специализирующихся по электромашиностроению было бы полезно поставить в лаборатории хотя бы в самой элементарной форме задачу на определение емкости катушек (см. Грун, задача 40).

Далее, необходимо отметить как крупный недостаток отсутствие описания какого-либо анализатора (ведь отсутствие его в лаборатории можно считать лишь временным и ненормальным явлением), а также отсутствие приборов по опытному определению гармоник (например, прибора Олехновича). Необходимо отметить также следующие мелкие недочеты, чтобы их учесть в последующих изданиях:

Стр. 4. „...изучить трансформатор-машину...“, хотя на стр. 3 трансформатор отнесен как будто к числу приборов или аппаратов. Стр. 41. „... Телефон служит в качестве гальванометра переменного тока...“ С этой фразой никак нельзя согласиться. Стр. 135. Схема и диаграмма рис. 118 не совсем хорошо увязаны с текстом. Стр. 164. „...до сих пор мы умалчивали о роли вторичной обмотки, очевидно, тем самым мы считали ее незамкнутой и, следовательно, бессильной воздействовать своими ампервитками...“. Трудно понять, о каких ампервитках незамкнутой обмотки может идти речь? Стр. 170 и рис. 147. Схема короткого замыкания, приведенная на рис. 147 (амперметр включен во вторичную обмотку), обладает недостатками (см., например, Л. М. Пиотровский и В. К. Попов, Испытание машин переменного тока, вып. 1, стр. 254) и не может быть рекомендована. Стр. 211. Нет опыта, связанного с изменением направления вращения поля.

Далее, можно отметить опечатки и пропуски: Стр. 50. Опыт 2 „...сравнения с неизменной емкостью“. Стр. 119. рис. 98 под диаграммой простой последовательной цепи подписано: „соединения звездой“. Стр. 151. „... по мере увеличения“ φ не указано, остается ли I при этом const или нет. Стр. 155. „При равномерной нагрузке показания ваттметров по Арону не равны при всех значениях φ кроме $\varphi = 0^\circ$ “. Было бы, конечно, более правильным к осциллограммам, приведенным в конце книги, дать некоторые пояснения. Относительно чертежей. Надо признать желательным введение, как это сделано автором, распространенного у американских инженеров метода изображений векторов тока, напряжения и т. д. различного вида стрелками. Схема переключателя по Арону (рис. 138) очень неудачна. Гораздо нагляднее эти схемы у Скирль (рис. 196 и 131) или Пиотровского и Попова (рис. 118).

Далее, несмотря на выше уже указанный достаточно ясный способ изложения автора, имеется все же ряд мест, требующих известной переработки. Так, достаточно тяжело изложены стр. 17—20. Далее, стр. 49. „Чтобы устранить влияние на измерение емкости аппаратуры по отношению земли...“ Стр. 82. „Увеличение L с ростом тока соответствует таким соотношениям в цепи, которые очень далеки от интересующих нас соотношений при феррорезонансе напряжений, в исследуемых условиях с ростом тока L уменьшается“. Стр. 149. „Эти особенности способа обусловлены векторными соотношениями в цепи трехфазного тока, вопросы техники электрических измерений и технологии электроизмерительных приборов имеют в данном случае небольшое подчиненное значение, поэтому способ Арона рассматривается при изучении теории переменных токов“.

Эти фразы, конечно, нельзя признать особенно удачными. Так же едва ли хорошо звучат и следующие фразы: например, стр. 3. „На шкале измерительных приборов молодой электрик должен научиться видеть сложные картины игры электрических сил, на маленьких моделях изучить искусство управления этой игрой...“ Стр. 17. „Математический груз оказывается слишком тяжелым для технических расчетов“.

Указанные выше мелкие недочеты ни в коей мере не могут понизить ценность разбираемой книги. Однако все же имеется одно весьма существенное обстоятельство, на которое надо обратить внимание.

Дело заключается в следующем. Согласно предисловию автора „задача руководства заключается в том, чтобы перед выполнением опыта кратко напомнить те основные положения теории, которые связаны с данной работой“. Этот вопрос о „кратком напоминании теории“ является весьма важным и касается по сути дела не одного учебника, а вообще всех учебников подобного рода. Пред-

ставляется правильным такое положение: дела, когда студент, получая задание на следующую работу, одновременно получает и указание, какие отделы теории необходимо вспомнить и проработать по основному руководству. В книге Касаткина А. С. такие ссылки к каждой задаче и приведены. Однако вместе с тем он считает необходимым перед каждой задачей повторить кратко теорию, и вот что получается:

Например, схема Гуммеля, разобранный в основных руководствах (далее О. Р.), разбирается также подробно в данной книге. Теория резонанса (к задаче 5) разбирается полностью (12 стр.). Трехфазный ток. Основные понятия, разобранные в О. Р. и дополненные несколькими задачами, которыми обычно занимаются на семинаре, занимают 11 стр. Метод Арона, разбраный в О. Р. и на семинаре, занимает 4 стр. Схема замещения и векторная диаграмма трансформаторов занимают 8 стр. Вращающееся поле 6 стр. и т. д. Другими словами, получается нечто вроде конспекта, изложения в кратком виде теории. Согласиться с этим никоим образом нельзя.

В руководствах по лаборатории должны производиться итоги того, что дано в О. Р. Эти итоги: диаграммы, схемы, формулы — рассматриваются, разбиваются, дополняются под углом зрения требований, вытекающих из поставленной конкретной задачи. Вся теория каждой работы в лаборатории должна быть студентом проработана детально, без упрощения и сокращений по О. Р. так, чтобы он, переходя к руководству по лабораторным работам, не пользовался этим руководством как конспектом, а только получал бы из него указания, как произвести измерения, на что обратить внимание, какие сделать выводы, а также получал бы дополнения к проработанной им по О. Р. теории — дополнения, связанные с деталями данной работы, естественно, не могущие быть рассмотренными в О. Р. В руководстве по лаборатории теория не может быть изложена достаточно строго, как это признает и автор (см. предисловие стр. 4), а это заранее порочит самую идею введения в руководство такого рода теоретических рассуждений. Недопустимо, конечно, чтобы, проработав известное О. Р., студент потом окончательно его забросил, разучился им пользоваться и удовлетворялся бы «орысками» теории в недостаточно строгом и полном изложении. Далее, необходимо отметить еще следующее:

В настоящее время жизнью все более и более требовательно ставится вопрос о стабильном учебнике для высшей школы. Естественно является ожидать, что в эту работу по созданию стабильного учебника включаются кафедры по отдельным дисциплинам как основные научно-методические, производственные единицы вузов. Естественно далее является ожидать, что отдельные учебники, составленные коллективом авторов или отдельными авторами, будут достаточно внимательно обсуждены соответствующими кафедрами как со стороны содержания, так и с методической стороны еще до выпуска этих учебников в свет. Постановление ЦИК от 19/XI 1932 г. ясно требует этого. В случае разбираемого руководства мы не имеем никаких указаний, в какой мере при составлении руководства было учтено мнение кафедр, которые будут пользоваться им как учебным пособием, и в какой мере рассматриваемый труд мог бы быть принят как основа для развития из него стабильного руководства по лаборатории переменных токов.

Инж. Н. Горохов

E. PIAZZOLI *Tecnica degli impianti elettrici per luce e forza. Vol. II, parte I. Condutture, trasmissione e distribuzione, apparecchi, e apparecchiature, protezioni.* 7 изд. Ulrico Hoepli, Milano, 1929, XVI 559 стр., 285 рис., цена в переплете 28 итальянских лир

Одна из крупнейших издательских фирм Италии — Ulrico Hoepli уже довольно давно выпустила целую серию карманных (причем здесь формат по своей компактности действительно соответствует такому назначению) справочников по различным отраслям знания. Большинство выпусков этой библиотеки справочников уже переиздавалось по несколько раз. В состав серии входит и обстоятельный труд Piazzoli «Техника электрических осветительных и силовых установок». Рецензируемая книга является 7 изданием I части II тома этого труда. В I том вошли: символы и обозначения, единицы, основные формулы и постоянные, электрические измерения, электрические машины, трансформаторы, нормы и испытания машин, аккумуляторы. Настоящий выпуск посвящен расчету и устройству систем для канализации электрической энергии. Содержание отдельных глав следующее: оборудование и механический расчет воздушных линий, устройство подземных линий, расчет проводов электрических сетей, линий передач, аппаратура электрических сетей (вы-

ключатели, устройства для сигнализации, передачи показаний приборов на расстояние, для управления, регулирования и пр.), защитные устройства и аппаратура (заземления, защита людей от опасных напряжений), переаппаратура и защита от них, аварийные токи и защита от них.

Уже из этого перечня видны те широкие цели, которые ставит себе автор. В своем изложении он в чрезвычайно ясной, хотя и сжатой, форме, но вместе с тем с достаточной полнотой сумел охватить все важнейшие вопросы расчета, устройства, а отчасти и эксплуатации электрических сетей и линий передач. При этом автору удалось отразить на страницах книги все новейшие успехи этой отрасли электротехники. Особенно удачно изложены следующие отделы: расчет опор, последовательное соединение приемников, распределительные устройства, расчет и устройство заземлений, защита сетей.

Автор базируется в основном на итальянской практике; но в то же время в изложении чувствуется значительное влияние германской школы. Так, например, помимо итальянских норм, применительно к которым построено изложение и даны многочисленные прекрасные иллюстрирующие теорию цифровые примеры, во многих случаях имеются ссылки и на германские нормы. Очень толкая, но прочная и не пресвечивающая бумага позволила, несмотря на обильное вошедшее в книгу материала, придать ей малые размеры. Напечатана книга мелким, но очень четким шрифтом и снабжена отчетливыми, резкими чертежами весьма удачной компоновки.

Проф. В. Хашинский

HERBERT KUSER. *Die elektrische Kraftübertragung. 2 Band. Die Niederspannungs- und Hochspannungs-Leitungsanlagen.* 3 изд. Julius Springer, Berlin, 1932, VI, 490 стр., 395 рис., цена 30 германских марок

Рецензируемая книга представляет собой новое издание второго выпуска трехтомного труда по генерированию и канализации электрической энергии, довольно широко известного в наших специальных кругах. Сочувственно встреченное иностранной критикой новое издание сравнительно сильно переработано: кое-что из прежнего содержания книги выпущено и добавлено немало нового материала, учитывающего почти все успехи в этой отрасли электротехники за 10 с лишним лет, истекшие со времени предыдущего издания (2-е изд., вышедшее в 1921 г. и в свое время переведенное на русский язык, переиздавалось стереотипно — так называемый *Manuldruck*, в 1923 г.). Как и в предыдущем издании, книга попрежнему грешит некоторой неравномерностью распределения материала: некоторые темы трактуются в ней весьма подробно, другие же, не менее важные по своему практическому значению, значительно более кратко. Особенно сильному сокращению подверглась глава I о расчете электрических сетей, который и в предыдущем издании был затронут весьма поверхностно. Расширен отдел, в котором описывается конструктивное выполнение линий, причем вопросы, касающиеся кабельных линий, выделены теперь в отдельную (третью) главу объемом в 100 стр., между тем как в предыдущем издании эти вопросы занимали всего лишь 22 стр. В разбираемом издании даны описания и изображения многих новейших конструкций. Кое-что из последних достижений техники канализации электрической энергии все же не получило отражения на страницах нового издания. Так, мы не нашли в книге ничего о новом типе замкнутых сетей в виде сплошной кабельной сетки, причем в случае повреждения в каком-либо из кабелей месту короткого замыкания предоставлено ликвидировать себя самому путем выгорания. Между тем, такого рода сети начинают получать довольно широкое распространение в США и Германии. В новом издании увеличено количество литературных ссылок, хотя они попрежнему не систематизированы, а разбросаны по различным местам текста в виде подстрочных примечаний. Есть в тексте кое-какие ненужные повторения.

Несмотря на некоторые небольшие недостатки книги, она заслуживает быть включенной в библиотеку всякого серьезного работника по проектированию, монтажу и эксплуатации электрических линий для передачи и распределения энергии.

В книге можно найти некоторые ценные новые сведения о проходах из алюминия, его сплавов и омедненной стали (Моннота — KPS), о деревянных опорах, опорах из железа и бетона, о различных деталях конструкции воздушных линий. Интерес представляют и некоторые данные о конструктивных деталях кабельных линий, об их экономике и эксплуатации.

Проф. В. Хашинский

ИЗ КНИГ И ЖУРНАЛОВ

Электромашиностроение

ШНЕЙДЕР, «Уход и ремонт генераторов, трансформаторов и аппаратуры на мощных электростанциях», «ETZ», № 35 и 36, 1933, стр. 837—839 и 663—865

Эксплуатация электрических станций Чорневича накопила большой опыт, ее агрегаты насчитывают до 100 000 рабочих часов и вырабатывают каждый более 1.3 · 10⁹ kWh. при средней мощности

Автор реферируемой статьи, имеющий большой опыт по эксплуатации этой станции, указывает на чрезвычайно важную роль содержания в исправности оборудования мощных электростанций, являющихся узловыми энергетическими пунктами, повреждения которых в большинстве случаев вызывают перебои в работе всей энергоснабжающей системы данного района.

В статье даются указания по эксплуатации генераторов, трансформаторов и аппаратуры. Ниже приводим основные из них, относя-

Чистота воздуха, служащего для вентиляции генераторов, имеет исключительно большое значение для сохранности обмоток. Для наблюдения за этим необходимо иметь на каждой машине манометр, указывающий разрежение за фильтром, и термометр, указывающий температуру отходящего воздуха. Во избежание ошибочных показаний манометра вследствие завихрения в углах, на выступах и т. п. следует подводить к нему воздух из центра поперечного сечения воздушной камеры, причем каждый раз перед установкой подводящей воздух трубки безусловно необходимо измерить при помощи анемометра скорость и распределение воздушных потоков. На основании опыта можно считать, что разрежение за фильтром нормально достигает 10 мм H₂O. Для правильного измерения температуры отходящего вентиляционного воздуха штучер дистанционного термометра должен быть помещен внутри воздушного пространства по возможности в наиболее горячем канале вентиляционной системы генератора. При полной нагрузке температура отходящего воздуха никогда не должна превышать 60° С.

При замкнутом цикле охлаждения возможно также загрязнение обмоток благодаря просачиванию воздуха из машинного зала через неплотности в месте прохода вала через боковые щиты и в других местах вентиляционной системы. Поэтому все эти места должны быть возможно лучше уплотнены. Однако все же известная потеря

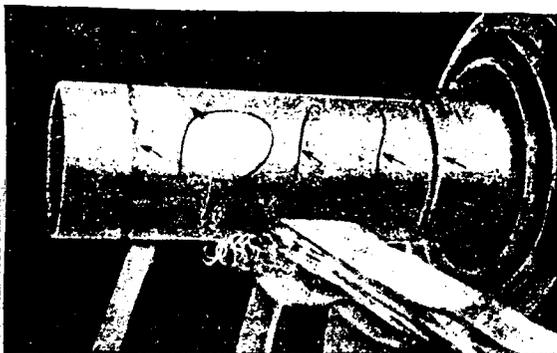


Рис. 1. Уход и ремонт

воздуха через неплотности в напорной части вентиляционной системы всегда имеет место, и эта потеря пополняется воздухом из машинного зала, проникающим сквозь щели в фундаменте и через слишком большие воздушные зазоры лабиринтовых уплотнений. Этот добавочный воздух вносит с собой пыль и пары масла, что особенно опасно. Чтобы этого избежать, следует добавочный воздух предварительно фильтровать. Такая мера особенно благоприятно сказывается на чистоте ротора, вентиляторы которого обычно легко засасывают из подшипников масляные пары. Масло при этом отлагается в вентиляционных каналах, что по наружному виду невозможно даже обнаружить. Добавочный воздух лучше всего подавать отдельным вентилятором непосредственно в камеру всасывания в таком количестве, чтобы разрежение не превышало нескольких миллиметров. Эта мера дала в эксплуатации прекрасные результаты. При проточном охлаждении в зимнее время во избежание переохлаждения и образования вследствие этого росы необходимо подогреть входящий охлаждающий воздух, примешивая к нему некоторую часть нагретого отходящего воздуха. При замкнутом охлаждении с той же целью следует к слишком холодной входящей охлаждающей воде добавлять при помощи вспомогательного насоса подогретую циркуляционную воду, отходящую из конденсаторов.

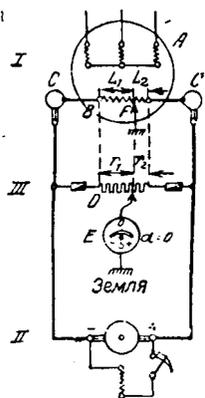


Рис. 2. Схема для контроля за состоянием изоляции. I — генератор; A — обмотка статора; B — обмотка ротора; C — кольца ротора; L₁ и L₂ — длины участков обмотки ротора; II — возбудитель; III — измерительное приспособление; D — делитель напряжения; E — измерительный прибор постоянного тока с нулем шкалы посредине. При заземлении в точке F отклонения стрелки прибора не будет, если

наблюдение за состоянием изоляции роторов относительно сердечника мощных турбогенераторов также является весьма важной задачей, так как, например, двойное заземление может вызвать не только значительное расстройство параллельной работы вследствие появления качаний, но может также нанести серьезное повреждение генератору. Рис. 1 показывает начавшееся разрушение шейки вала, происшедшее вследствие заземления изолированного от земли подшипника и замеченное своевременно благодаря текущему контролю состояния изоляции. Заземления обмотки ротора или в цепи возбуждения, а также изолированного от земли подшипника со стороны возбудителя происходят весьма часто. Это побудило сконструировать постоянное относительно недорогое испытательное устройство, позволяющее обслуживающему персоналу ве-

ривать своевременно обнаружить начинающиеся повреждения и таким образом предупреждать возникновение значительных аварий. На рис. 2 изображена схема этого устройства, которое включается между кольцами ротора и состоит из делителя напряжений, образующего с обмоткой ротора мостик. При отсутствии заземления в системе возбуждения прибор, включенный между землей и скользящим контактом делителя напряжения, не будет давать никаких отклонений при любом положении скользящего контакта, так как сопротивление изоляции системы возбуждения в нормальном состоянии очень велико в сравнении с сопротивлением измерительного прибора. С помощью этого приспособления тот час же становятся заметными перемежающиеся или установившиеся заземления в обмотке ротора или цепи возбуждения, а также снижение величины переходного сопротивления между валом и кольцами вследствие чрезмерного отложения угольной и медной пыли. Величина сопротивления изоляции ротора в безукоризненном состоянии достигает по данным опыта электростанций 5 ÷ 10 MΩ в горячем и 10 ÷ 20 MΩ в холодном состоянии. Если изоляция опускается ниже 1 MΩ, то это указывает, что ротор необходимо как можно быстрее подвергнуть тщательному исследованию.

При нормальной эксплуатации не должно быть сильно сработанных коллекторов или контактных колец. При плохом их состоянии новые щетки притираются с большим трудом и со значительным расходом материала, не говоря о том, что до полной притирки их старые щетки сильно перегреваются и усиливают дальнейшее изнашивание коллектора и колец. Напротив, своевременная шлифовка износившихся коллекторов позволила в практике эксплуатации не менять их в течение 17 лет работы машин, и даже на ближайшее десятилетие не потребуются их смена. Наряду с обычным регулярным осмотром и очисткой возбудителей и скользящих колец не реже чем через каждые 3 000 ÷ 4 000 рабочих часов генератор должен быть самым тщательным образом исследован. Сильное загрязнение обмоток указывает на то, что уход за фильтром — ненадежный, фильтр слишком сухой или что в камере низкого давления имеются неплотности. Обнаружение замасливания внутренней поверхности, особенно лобовых частей обмотки, указывает, что фильтр смаывается слишком обильно и часто, или что скорость воздуха слишком велика, или, что бывает значительно чаще, велик воздушный зазор между валом и торцевыми щитами генератора, благодаря чему из генераторного подшипника засасываются пары масла и загрязняют ротор и лобовые соединения статора.

Исследование обмоток позволило электростанции установить, что изоляция из прессшпана и твердого дерева стареет быстрее, чем изоляционные материалы из промасленного полотна, лакированного полотна, твердой бумаги и искусственных смол. Рекомендуется через каждые 3 000 ÷ 4 000 рабочих часов производить тщательное исследование лобовых соединений обмотки статора даже и в том случае, если по внешнему виду еще сохранившейся лакировки они кажутся безупречными. При прессшпановой изоляции через 20 000 ÷ 30 000 рабочих часов, а при изоляции из промасленного полотна, лакированного полотна и слюды на шелку через 40 000 ÷ 60 000 час., как показывает практика, изоляция становится чрезвычайно пористой и хрупкой, особенно под нажимающими планками и подпорками. Поэтому руководство электрической станции Черневитц на основании многолетнего опыта отказалось от прессшпановой изоляции на лобовых частях и на основании произведенных исследований перешло на изолирование лобовых частей высококачественной лакированной лентой, которая в несколько слоев тщательно наклеивается при помощи бакелитового лака. Таким путем получается прочная, напоминающая кожу гильза, почти огнестойкая и не содержащая воздушных пузырьков. Такая изоляция даже под нажимающими планками и подпорками дает почти вдвое большую прочность по сравнению с прессшпановой изоляцией. Применение твердого дерева в генераторах также в основном было отброшено. Препараты из искусственных смол и твердой бумаги после пуска в эксплуатацию некоторое время продолжают усыхать, поэтому после 500 ÷ 1 000 час. работы все напряженные части снова подтягиваются.

Слюдяная изоляция вследствие присутствия в качестве связывающего вещества шеллака подвержена довольно быстрому старению, так как шеллак начинает постепенно разлагаться уже при 70° С. В условиях эксплуатации электростанции Черневитц слюдяная изоляция стержней обмотки после 60 000 ÷ 80 000 час. работы совершенно ослабела, хотя по наружному виду производила сравнительно хорошее впечатление. Частицы слюды, главным образом, вследствие перемещения стержней в пазу из-за различных коэффициентов расширения меди и железа настолько раздробляются, что изоляция совершенно теряет свою диэлектрическую прочность. Так, при испытании старой изоляции на машинах в 6 500 V рабочего напряжения почти всегда пробивалось уже при 7 500 V.

У генераторов, имеющих стыки, изоляция стыков после 25 000 ÷ 30 000 час. работы протирается от вибрации. Поэтому смена изоляции стыков должна производиться по меньшей мере каждый раз при генеральной разборке. При роторах с проволочными бандажами после каждого замеченного однофазного заземления, которое сохранялось длительное время, необходимо проверить, не распались ли бандажи. При роторах с цельными каплями исследование состояния стержневой обмотки, подвергавшейся действию однополюсного за-

земления, подвергавшейся действию однополюсного за-

место стыков каппы с бочкой ротора поддается наблюдению. В некоторых случаях начало повреждения можно заметить по побежалым цветам бочки ротора.

Демонтаж генератора мощностью 22 MVA, выемка старой обмотки и установка заново изолированных штабов, полное обновление изоляции лобовых частей статора, обновление стыков статора и сборка машин требуют максимум 4 000 + 5 000 рабочих часов.

Обновление изоляции и капитальный ремонт генератора, как показал опыт, необходимо производить после 60 000 + 80 000 час. работы машины.

Инж. В. Енько

Опыты с фазным компенсатором, охлаждением водородом, „ETZ“, 1933, № 20, стр. 476.

Schnell сообщает об опытах с большим фазным компенсатором мощностью 20 MVA (синхронным конденсатором) с охлаждением водородом. По мнению автора вопрос о том, должна ли выбираться синхронная машина обыкновенного типа или специальная для установки на открытом воздухе с охлаждением водородом, решается легко на основании сравнения расходов по сооружению. Охлаждаемая водородом машина, естественно, значительно дороже, но зато становится излишним здание. Несмотря на последнее, все же остается небольшое увеличение стоимости. Нормальная машина мощностью 20 MVA стоит, включая здание вместе с распределительным устройством, 630 000 марок, охлаждаемая водородом на 21 000 марок дороже. Но должны также оцениваться и потери, а последние в машинах, охлаждаемых водородом, значительно меньше и, что особенно важно, меньше потери холостого хода. Эта выгода настолько велика, что можно, не сомневаясь, пойти даже на некоторое повышение потерь в меди.

Потери должны капитализироваться по следующему расчету:

Потери холостого хода определяются произведением максимальных потерь на число часов работы и на стоимость. Потери в меди равны максимальным потерям, умноженным на число часов потерь и на стоимость (понятие „число часов потерь“ автор принимает по Смоленскому)¹⁾. Для нормальной машины получается 1 260 марок за 1 kW, для охлаждаемой водородом—420 марок за 1 kW. Если определенные таким образом расходы по потерям причислить к основным расходам, получается, что машина, охлаждаемая водородом, на 115 500 марок дешевле.

В рассматриваемой автором установке достопримечательны следующие детали:

Возбудитель приводится в движение трехфазным двигателем, который питается от особого трансформатора. Так как этот агрегат лежит в пределах дифференциальной защиты главной машины, становится излишним особый выключатель большой мощности. На каждом конце машины расположено по одному хранилищу для водорода. Рядом с машиной расположено прочное здание, содержащее указатель чистоты водорода, равно как термометры для холодного и теплого водорода. При пуске в работу машина наполняется углекислотой, пока полностью не вытеснится весь воздух. После этого углекислота вытесняется водородом. Во время работы машины давление водорода автоматически поддерживается в пределах от 0,2 до 0,7 kg/cm².

Главными преимуществами водородного охлаждения являются, во-первых, понижение потерь на трение и, во-вторых, в 7,5 раза большая теплопроводность водорода по сравнению с воздухом. Кроме того, коэффициент теплопередачи от металла к водороду на 30% выше, чем от металла к воздуху. Уменьшение шума при водородном охлаждении также имеет немаловажное значение. Подобные машины могут устанавливаться даже в жилых помещениях.

Инж. А. С. Ильинский

Техника высокого напряжения и линии передач

Опытные алюминиевые провода на Зильте

Сообщение Немецкого об-ва металловедения (Комиссия по алюминиевым проводам) „Zeitschrift fur Metallkunde“ № 7, 1933, стр. 170.

В 1926 г. на острове Зильте была установлена экспериментальная линия из алюминиевых проводов, имевшая целью показать полную применимость алюминия для электропроводов при условиях надлежащей обработки и монтажа, а также испытать некоторые проводниковые алюминиевые сплавы и специальную арматуру для алюминиевых проводов.

Местом испытания был избран западный берег острова Зильте в Северном море, отличающийся суровыми условиями для службы проводов: сильные ветры, тучи песка, воздух, насыщенный морской влагой, содержащей соли. Материал для проводов, выдержавший подобные условия, должен считаться вполне пригодным для службы в нормальных условиях.

Провода были укреплены на деревянных мачтах при расстояниях между ними в 35—50 м. Общая длина линии 1 км. По проводам передавалась энергия от генератора мощностью 4,5 kVA, при 50 Hz и 115 V. Ток, протекавший по проводам, равнялся 39,2 А. Линия состояла из трех участков.

Первый участок был расположен вблизи берега и подвергался особенно сильному действию ветра и бурь. Этот участок был пред-

назначен для испытания арматуры и соединительных клемм против действия вибраций и раскачиваний ветром.

Второй участок был оборудован проводами, изготовленными из разных материалов. Расположен он был в 300 м от берега моря.

Третий участок отстоял от берега моря всего на 200 м и предназначался для коррозионного испытания новых алюминиевых сплавов.

Материал испытываемых проводов

1. В первом участке был натянут провод из алюминия, недостаточно чистого (99,2%) и отожженного при 350° с целью установить влияние такой обработки на сопротивление провода коррозии.

2. Во втором участке был провод из алюминия нормальной чистоты (99,6%) и для сравнения с ним — медный провод.

Для того чтобы влияние коррозии быстрее сказалось, провода были взяты небольшого сечения (35 мм²), состоявшие из тонких проволок.

3. В последнем (третьем) участке были натянуты провода из альдрея, специального сплава № 2 и алюминия (99,2%).

С целью повышения коррозионной стойкости алюминиевый провод был закален при 500°С.

Сплав № 2 отличался тем, что заключавшиеся в нем специальные примеси находились в твердом растворе частично, а не полностью, как у альдрея.

Теоретически надо было ожидать понижения устойчивости против коррозии проводов в следующем порядке: алюминиевый провод 99,6, алюминиевый провод 99,2/500, затем 99,2/3 500 и, наконец, сплав № 2.

В 1927 г. была установлена параллельная проводка, от которой

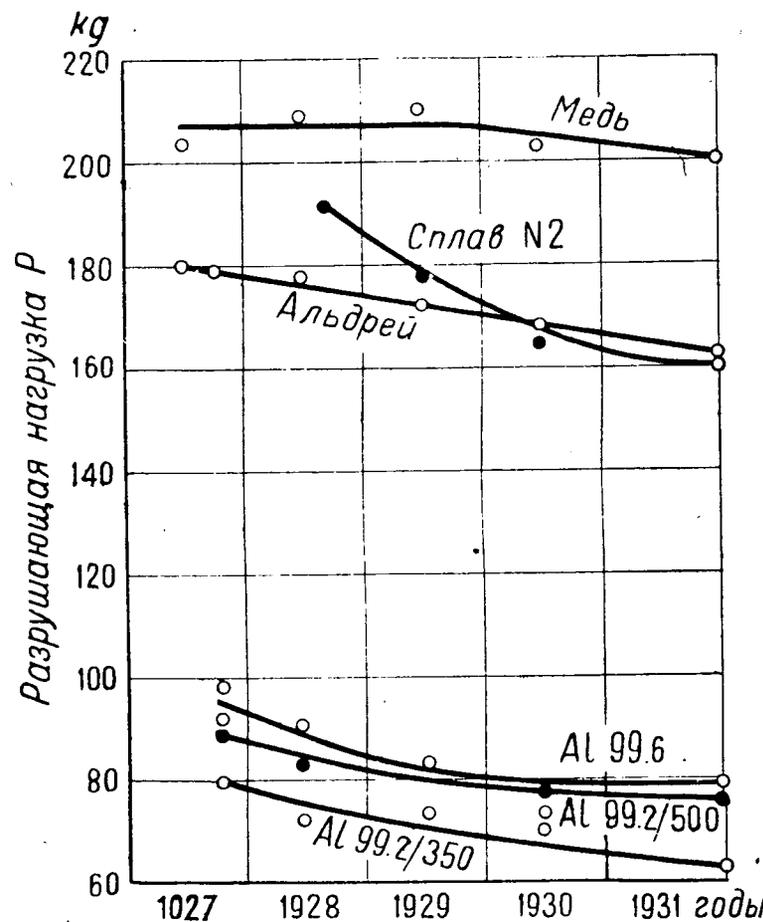


Рис. 1. Средние годовые значения разрушающей нагрузки P испытанных проводов

брались периодически концы проводов и испытывались механически и проверялось их электрическое сопротивление.

Ко времени окончания испытаний (1932 г.) в общем провода сохранились хорошо. На всех алюминиевых проводах через несколько месяцев с начала испытания образовалась серая, плотная и равномерная пленка, которая в дальнейшем почти не изменялась. Провод из альдрея имел почти такой же вид, тогда как провод из сплава № 2 проявил слабые следы коррозии.

На поверхности медного провода вначале образовалась лишь тонкая патина, но к концу испытания появились мелкие язвочки и провод выглядел хуже, чем алюминиевые.

Из кривых рисунков 1 и 2 видно, что разрушающая нагрузка P и сопротивление плавлению в медного провода илут вначале без изме-

кривые у алюминиевых проводов 99,6 и 99,2/500. Наихудшим оказался сплав № 2.

В общем ход кривых у алюминиевых проводов подтвердил теоретические предположения относительно коррозионной устойчивости их, высказанные выше.

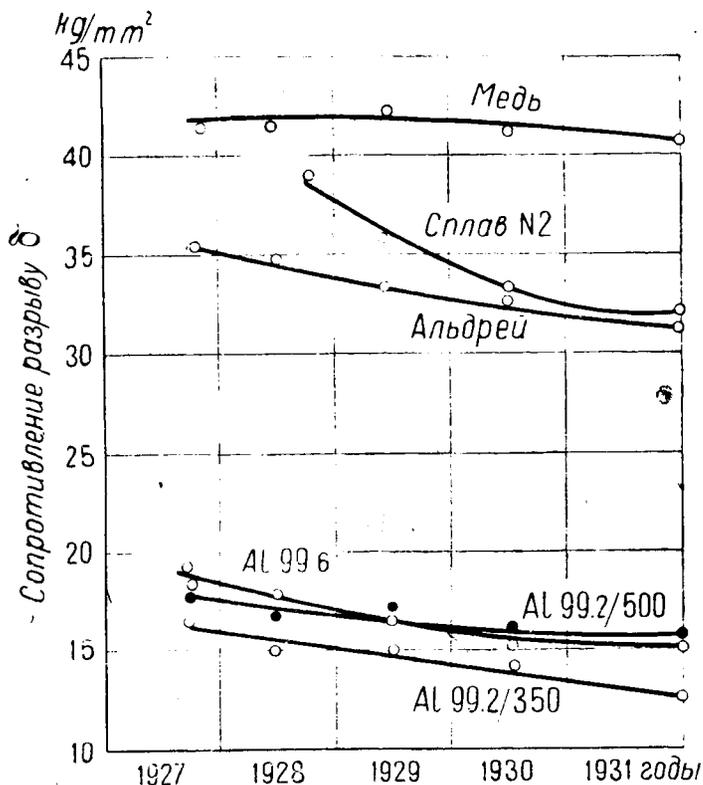


Рис. 2. Средние годовые значения сопротивления разрыву σ испытанных проводов

Падение кривых у алюминия 99,2/350, альдрея и меди на протяжении всего срока испытания не прекратилось и шло у всех трех в одинаковой степени, что позволяет допустить равноценность качества этих материалов по отношению к коррозии.

Уменьшение P и σ у всех проводов должно быть отнесено за счет уменьшения прочности самого материала вследствие внутренних структурных изменений под атмосферными воздействиями, а не за счет

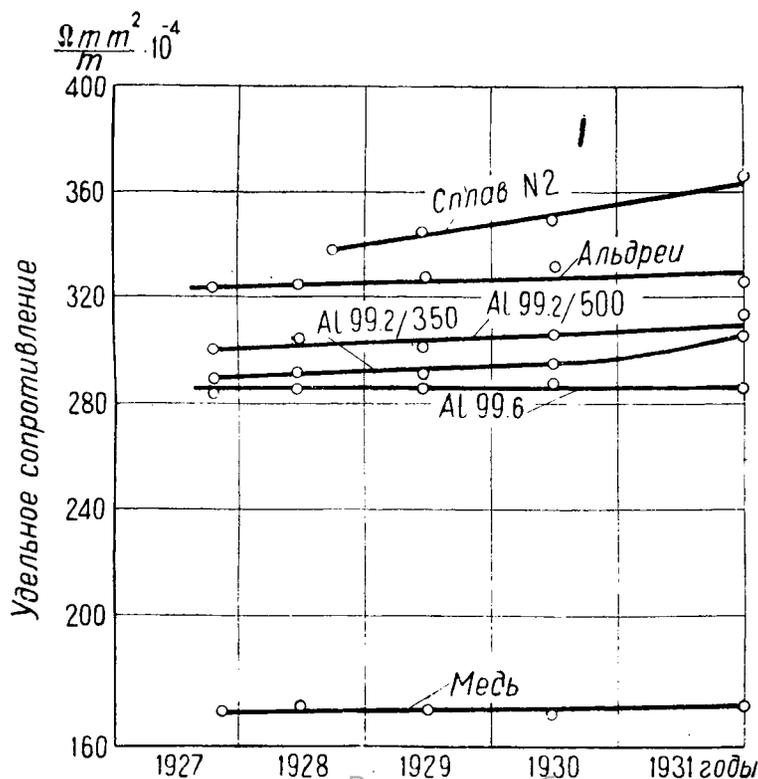


Рис. 3. Средние годовые значения удельного сопротивления ρ испытанных проводов

поверхностной коррозии, которая, как указано выше, почти не была заметна.

Это подтверждается тем, что кривые P и σ идут параллельно, т. е. сечение проводов не изменяется, в то время как электрическое сопротивление, например, у провода № 2 (рис. 3), заметно возросло.

Из результатов испытания можно сделать вывод, что все провода из алюминия оказались в отношении устойчивости против коррозии не хуже медных, а провод из высоко чистого алюминия при правильной обработке даже несколько лучше медного.

Инж В. Усов

Е KIRCH. Сравнение обычных и маслonaполненных кабелей. Elektrizitätswirtschaft, 1932, № 3, стр. 509—514

Основной недостаток кабелей, пропитанных вязкой массой, состоит в наличии мелких пустот, образующихся вследствие сравнительно большого коэффициента теплового расширения пропиточной массы. Кабели обычного типа, пропитанные тщательнейшим образом, уже с момента изготовления имеют пустоты. Монтаж и особенно эксплуатация этих кабелей приводят к дальнейшему увеличению пустот.

При достаточно высоких градиентах электрического поля внутри кабеля в пустотах (по существу в вакуумных включениях) возникает ударная ионизация (корона). Известно, что корона, воздействуя на бумагу и пропиточный компаунд, обугливает бумагу и образует газы (главным образом водород), воду и твердое матовое вещество, называемое „кабельным воском“ (Kabelwachs). Кабельный воск часто называют X-веществом, так как его химическая структура еще недостаточно ясна. Считают, что образование воска является результатом полимеризации и конденсации углеводородных молекул компаунда, перерождающегося под воздействием ионной бомбардировки и ультрафиолетовых лучей, возникающих в кабеле при короне. Водород, проникая между слоями бумаги, создает новые центры ионизации и воскообразования.

Как показала практика, процесс воскообразования протекает быстрее роста напряженности электрического поля. Было замечено, например, что кабели, работавшие при максимальных температурах от 15 до 40° С с ежедневными колебаниями температуры в 10—20° С, имели приблизительно одинаковую степень воскообразования при следующих условиях:

При градиентах от 3 до 4 kV/mm	спустя около 15—30 лет
• „ „ 4,5 „ 5 „ „ „	4—8 „
• „ „ в 7 „ „ „ „	1/2 года
• „ „ от 9 „ 10 „ „ „	1/4 „

Кабели пропитаны массой, обладавшей первоначально превосходными электрическими характеристиками, но состоявшей из очень густых парафинистых масел с точкой каплепадения при 35—45° С. Поэтому уже после непродолжительной эксплуатации в кабелях образуются пустоты относительно больших размеров и появляется корона даже при небольших градиентах электрического поля.

Образующаяся в кабеле параллельно с образованием воска вода сильно уменьшает его диэлектрическую крепость. Кроме того, хотя кабельный воск является сам по себе очень хорошим изоляционным материалом, тем не менее, его появление в кабеле обычно приводит к преждевременным пробоям. Сильное сжатие компаунда при воскообразовании обуславливает появление в кабеле значительных вакуумных карманов, отчего увеличивается корона, обугливающая бумагу и повреждающая кабель. Обычно вблизи мест пробоя изоляция оказывается совершенно сухой и имеет следы воска даже при тщательнейшей пропитке кабеля.

Свойства и надежность в работе кабелей, пропитанных вязкой массой, в значительной степени определяются свойствами пропиточной массы, среди которых, как уже отмечалось, большое значение имеет вязкость.

На заводе АЕГ в Обершпрее измеряли при комнатной температуре зависимость угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$ от времени приложения напряжения на одножильных кабелях, совершенно одинаковых по конструкции, но пропитанных компаундами разной вязкости (рис. 1). На кабелях воспроизводился суровый эксплуатационный

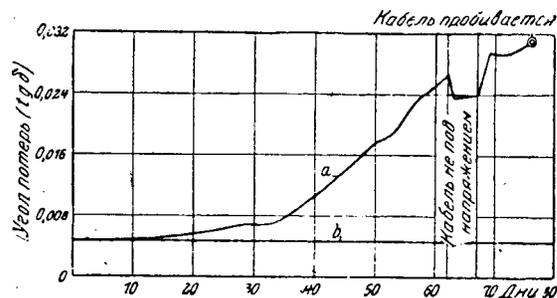


Рис. 1. Зависимость угла потерь $\text{tg } \delta$ от времени. а — для старого кабеля с плохой пропиточной массой; б — для нового кабеля с хорошей пропиточной массой

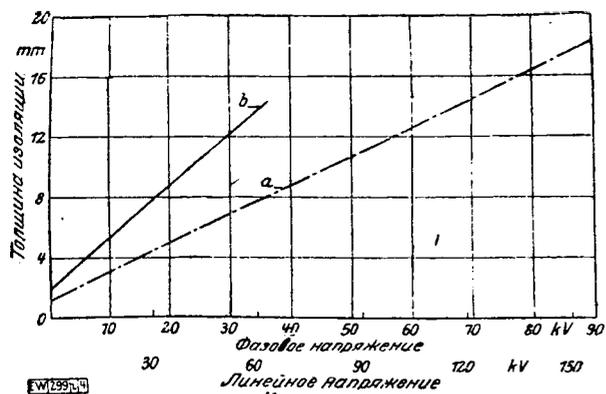


Рис. 2. Толщина изоляции маслянонаполненных и обычных кабелей: а — для маслянонаполненных кабелей; б — для обычных кабелей (VDE 1928)

режим путем нагрева их примерно раз в три дня до температуры в 50°C и последующего охлаждения до температуры окружающей среды. Во время опытов максимальный градиент на поверхности жилы обеих кабелей равнялся примерно 10 kV/mm .

Как видно из рис. 1, кабель а, пропитанный очень вязким цилиндрическим маслом (точка каплепадения при высокой температуре), при одновременном воздействии температурных циклов и электрического поля уже через два месяца чрезвычайно сильно ухудшился. В кабеле б, пропитанном более жидким маслом, величина угла потерь почти не изменилась.

Основываясь на этом, можно считать, что путем применения для пропитки массы с лучшим температурным ходом вязкости достигается значительное улучшение устойчивости обычного кабеля. Если при этом учесть, что обычные кабели, пропитанные низкокачественным компаундом, находятся в эксплуатации при напряжении до 60 kV уже в течение 6—7 лет без аварий, то несомненно, что при пропитке кабелей улучшенным компаундом можно рекомендовать их применение для напряжения в 60 kV . Необходимо, однако, отметить, что даже при пропитке кабелей компаундом, обладающим очень хорошими физическими свойствами, пустоты полностью не устраняются, а лишь уменьшается занимаемый ими объем, и они равномернее распределяются в кабельной изоляции.

Для передачи значительных мощностей при высоких и очень высоких напряжениях кабели, пропитанные вязкой массой, ненадежны, отчего в этих случаях применяют кабели с жидким масляным наполнением, в которых совершенно отсутствуют пустоты.

Основной принцип работы маслянонаполненного кабеля состоит в том, что благодаря приключенным к нему резервуарам возможно изменение количества масла в кабеле при изменении температуры. Весь кабель поэтому постоянно наполнен маловязким маслом, находящимся под некоторым давлением и свободно перемещающимся по продольным каналам, проходящим внутри и вне жилы. При растяжении или изменении формы свинцовой оболочки образующиеся пустоты немедленно заполняются маслом из резервуаров. Если, например, в трехжильном 60-kV кабеле обычного типа при наименьшей температуре недостает с течением времени примерно $80\pm 100\text{ l}$ масла на 1 km кабеля (это равносильно образованию пустот, составляющих $2\pm 2,5\%$ общего объема изоляции кабеля), то в маслянонаполненных кабелях этот недостаток масла пополняется из резервуаров соответствующего объема.

В кабелях, пропитанных вязкой массой, несмотря на очень высокую мгновенную пробивную крепость, пробивное напряжение сильно снижается с течением времени, отчего при проектировании на высокое напряжение они получают очень большие размеры. Пробивная крепость маслянонаполненных кабелей в противоположность кабелям обычного типа достигает своей минимальной величины в кратчайшее время, причем последняя значительно больше минимального пробивного напряжения обычных кабелей. Поэтому при изготовлении кабелей обоих типов на одинаковое высокое напряжение толщина изоляции, а следовательно, диаметр и вес маслянонаполненного кабеля значительно меньше, чем у обычного кабеля (рис. 2 и 3).

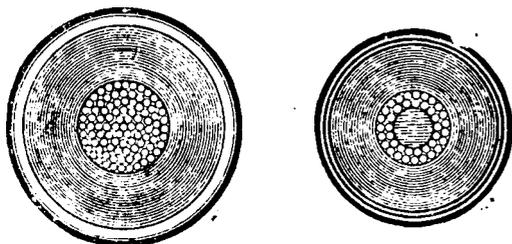


Рис. 3. Кабель, пропитанный вязкой массой $3 \times 185\text{ mm}^2$ | Маслянонаполненный кабель $3 \times 400\text{ mm}^2$ $12,3\text{ t}$ 190 MVA

Из кривых рис. 2 следует, что толщина изоляции в маслянонаполненных кабелях составляет примерно от $\frac{1}{2}$ до $\frac{2}{3}$ толщины изоляции обычных кабелей, изготовленных на то же напряжение. На рис. 3 приведены маслянонаполненный и обычный кабели, изготовленные на напряжение в 100 kV .

Маслянонаполненные кабели допускают значительно большую токовую нагрузку, чем кабели, пропитанные вязкой массой. Если в последних предельной допустимой температурой нагрева является примерно 50°C , то в маслянонаполненных кабелях возможен нагрев до $70\pm 80^{\circ}\text{C}$. Отсюда очевидно, что при передаче одинаковой мощности сечение токопроводящей жилы у маслянонаполненных кабелей значительно меньше, чем у обычных кабелей. На рис. 4 представлены маслянонаполненный и обычный 30-kV кабели, сконструированные для передачи примерно одинаковой мощности.

Хотя тщательно изготовленные 30-kV кабели обычного типа достаточно надежны, однако при передаче больших мощностей в большинстве случаев, исходя из чисто-экономических соображений, применяют маслянонаполненные кабели. В то время как предельная передаваемая мощность для обычных 30-kV кабелей, учитывая транспорт и прокладку, примерно равна 20 MVA , при передаче по 30-kV маслянонаполненным кабелям того же сечения и веса мощность может быть увеличена в 1,6 раза.

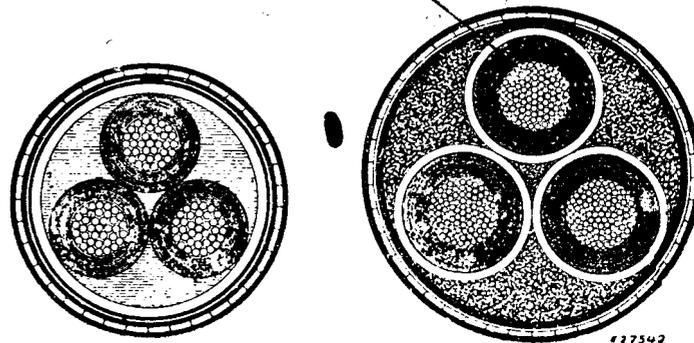


Рис. 4. Маслянонаполненный кабель $3 \times 185\text{ mm}^2$, $22,5\text{ t}$, $23,5\text{ MVA}$ | Кабель, пропитанный вязкой массой $3 \times 400\text{ mm}^2$, $37,5\text{ t}$, 25 MVA

При напряжениях в $60\pm 100\text{ kV}$ кабели обычного типа применяются лишь для перекрытия незначительных участков. В случае передачи при этих напряжениях значительных мощностей на большие расстояния обычные кабели ненадежны и неэкономичны и поэтому уступают место маслянонаполненным кабелям.

Ненадежность и неэкономичность обычных кабелей повышаются с ростом напряжения. Показательно, что для передачи при 150 kV одинаковой мощности диаметры обычного и маслянонаполненного кабелей, измеренные под свинцом, соответственно равны около 80 и 54 mm при толщине изоляции в 25 и 18 mm (диаметры жил кабелей примерно равны соответствующей толщине изоляции).

Таким образом появление кабелей с жидким масляным наполнением значительно расширило область применения кабелей, увеличило их надежность и повысило экономичность передачи больших мощностей.

Инж. Ис. Г. Герценштейн

L. O. WAITE, $1\frac{1}{2}$ года без разрядов, „El. World“, 29, IV 1933
S. Stokes, L. O. Waite, H. E. Gove, L. T. Byars, Поворотные деревянные траверсы на линии Osage Riverming, „El. Eng“, февраль 1932.

В систему Union Electric & Power Co входят две конструктивно отличные 132-kV линии.

Первая линия — двухцепная длиной в 192 km с поворотными деревянными траверсами на металлических опорах. Вторая — длиной 217 km одноцепная линия на деревянных опорах. Обе линии были пущены в эксплуатацию в середине грозового сезона 1931 г., и в течение 1931 и 1932 гг. при нормальных грозовых условиях на них не было разрядов. Каждая из линий разбита в целях лучшего обслуживания на три участка в пределах от 55 до 80 km . В течение $1\frac{1}{2}$ лет на этих трех участках зарегистрировано было 107 гроз на первой и 110 на второй линии. Часть этих гроз зарегистрирована одновременно в соседних участках, но, с другой стороны, вследствие большой длины участков, некоторые грозы остались незарегистрированными.

Описание первой линии

Эскиз опоры первой линии показан на рис. 1. Слева показана промежуточная опора с поворотными траверсами, справа — анкерная с неподвижными траверсами. Опоры применены металлические, траверсы — деревянные. Были использованы изолирующие свойства дерева, как показали испытания эти траверсы с 11 изоляторами дают изоляцию, эквивалентную 17 ± 23 изоляторам на металлических траверсах. При обрыве провода траверса поворачивается, что

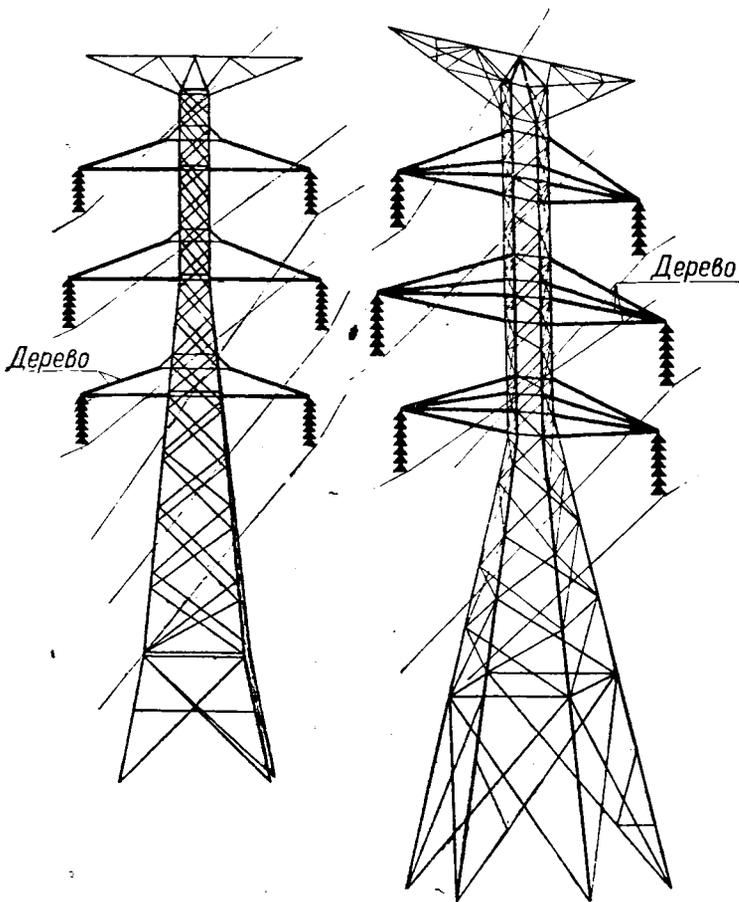


Рис. 1

дальной опоры становится процентов на 15—20 меньше, чем для неподвижных траверс. Основные данные первой линии следующие:

- Длина 192 км, вся на стальных опорах.
- Число цепей 2, напряжение 132 кВ, ток трехфазный, 60 Гц.
- Проводников 6, медные 19-жильные, сечением 125 мм².
- Защитных тросов 2, семижильные из гальванизированной стали диаметром 11 мм.
- Стандартная высота опоры: до верха 28,6 м, до нижнего проводника 12,8 м.
- Стандартные расстояния между проводниками. Горизонтальное между защитными тросами 8,8 м, между верхними проводниками 8,8 м, между средними 11,2 м, между нижними 8,8 м. Вертикальное расстояние между проводниками 4,25 м; между тросом и верхним проводом 6,25 м.

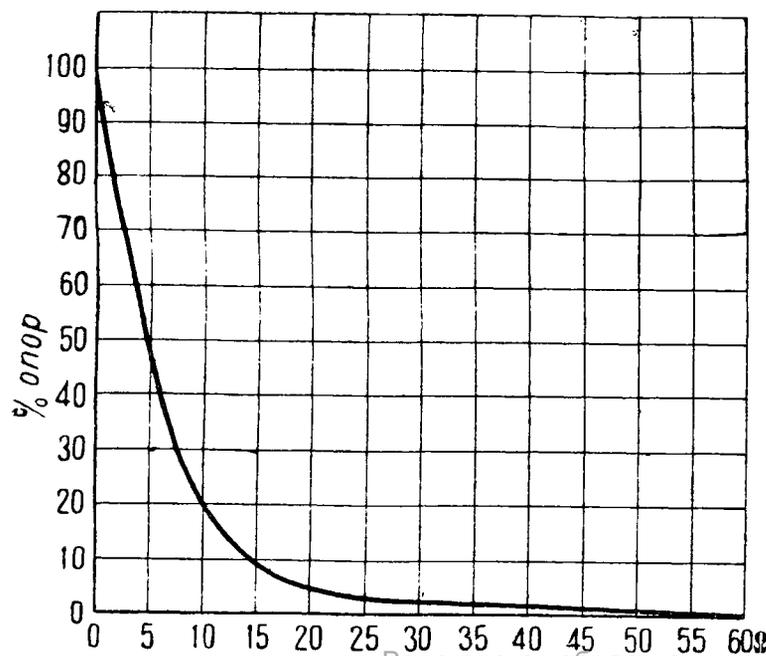


Рис. 2. Процентное число опор, имеющих сопротивление заземления...

Длина пролета: средняя 250 м, номинальная 210 м, максимальная 670 м.

Стандартный вес опоры. Башня опоры 2 880 кг, поворотная траверса 750 кг (350 кг—дерево и 400 кг—металлические части), фундамент 420 кг; всего 3 850 кг.

Стандартная траверса—поворотная. Ось поворота 20° с вертикалью. Двойной элемент растяжения 10×10 см из сосны со стальными сжимами. Элемент сжатия—2 сосновых бруса 7,5 и 15 см, скрепленных и сболченных вместе. Длина изолирующей части дерева от 1,6 до 2,6 м.

Изоляторы. На деревянных траверсах—11 элементов подвесных и 13 натяжных. На стальных траверсах—16 элементов. Защитных рогов не применено.

При конструировании опоры пришлось затратить много труда на выбор и испытание металлического сжима для элемента растяжения деревянной траверсы. Опора была испытана в лаборатории фирмы Westinghouse, причем оказалось, что верхняя траверса перекрывается при 1 350 кВ_{max}, средняя траверса перекрывается при 1 720 кВ_{max}, нижняя траверса перекрывается при 1 550 кВ_{max}. Волна достигала максимума в 1,5 мкс и спускалась до половины в 60 мкс. Полярность волны авторами не указана. Изоляция подстанции скоординирована устройством промежутка с последовательно включенным предохранителем. Вследствие разности в типах оборудования на подстанции установлен искровой промежуток 9,3 см, а на станции—1,02 см.

На рис. 2 приведена кривая, показывающая величину сопротивления заземления на опорах линии, из которой видно, что большинство опор имеет малую величину сопротивления заземления. Изменения производились при отсоединенных тросах.

Описание второй линии

Фотография второй линии показана на рис. 3. Гирлянда состоит из 11 элементов, включенных последовательно с 2,4 м дерева. Это устройство было бы эквивалентно приблизительно двадцати двум элементам изоляторов, если параллельный воздушный промежуток не перекрывался бы раньше, чем изоляция ограничивается,—приблизительно до двадцати изоляторов 250×14,5 мм (диаметр и высота) с минимальным разрядным напряжением около 1 500 кВ_{max}

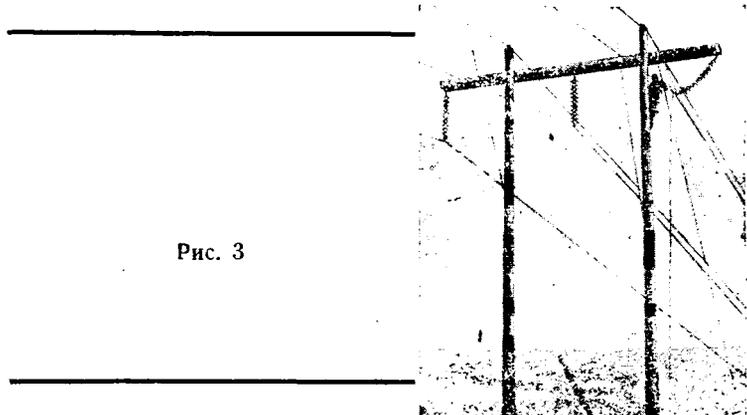


Рис. 3

Основные данные второй линии следующие:
Длина. На деревянных опорах 207 км, на металлических 10 км, всего 217 км.

- Цепи. Одна на 132 кВ, трехфазная, 60 Гц.
- Проводники. Три сечением 168 мм², 26 жил алюминиевых и 7 стальных.
- Защитные тросы. Два диаметром 11 мм из гальванизированной стали.
- Стандартная высота опоры столб 15 м 16,5 м
- до защитного троса 13 , 14,5
- до проводника 9 , 11,3

Стандартные расстояния между проводами. Горизонтальное между проводниками 4,9 м, горизонтальное между тросами 4,9 м, диагональное между проводником и тросом 6 м.

Длина пролета на деревянных опорах. Средняя 160 м, нормальная на 15-метровых столбах 140 м.

Опоры. Северная сосна, пропитанная креозотом.
Траверсы. Сосновая двойная траверса сечением 10×250 мм и 10 м длиной. Части расположены на 210 мм. Когда эквивалентный пролет превосходит 240 м, то сечение траверсы применяется 2×15×250 мм.

Оттяжки стальные диаметром 11 мм с деревянным изолятором длиной 2,7 м. Оттяжка прикрепляется к опоре на 1,8 м ниже траверсы. Стандартные опоры крепятся оттяжками, когда пролет превосходит 170 м или когда этого требуют почвенные условия.

Изоляторы. 11 в подвесной и 13 в натяжной гирлянде. Рога

Заземление. Величина заземления не превосходит 60 Ω .

Линия снабжена двумя тросами. Каждый трос заземляется на каждой опоре. От каждого троса берется отвод в землю, отступая на 3 м от опоры, затем заземляющий провод крепится к опоре на 4,85 м ниже траверсы и идет по столбу до земли. Такое устройство было выбрано для того, чтобы получить полный эффект от защитных тросов и вместе с тем не шунтировать изолирующей части дерева, что часто значительно уменьшает полезное действие тросов на деревянных опорах.

Сопротивление заземления измерялось на каждой опоре при отсоединенном тросе. В тех случаях, когда величина его превосходила 60 Ω , было установлено дополнительное заземление. Сопротивление 60 Ω было выбрано из экономических соображений, так как в этом случае потребовалось дополнительное заземление только на 13% опор. Если окажется необходимым, в дальнейшем предполагалось уменьшить сопротивление заземления. Пока опыт показал достаточность 60 Ω .

Инж. Е. В. Калинин

общеизвестный факт понижения напряжения пробоя высоковольтных изоляторов при тумане и высокой влажности воздуха.

Как временный результат наблюдений, что разрыв проводов при восходе солнца происходит в 40 раз чаще, чем в другое время, для указанной установки явился определенный вывод для распределения нагрузки в это время.

Инж. Ильинский А. С.

Разное

Получение электроэнергии из домового мусора в Лионе
„ETZ“, 7 декабря 1933, стр. 1 195.

Недавно в Лионе пущена в эксплуатацию установка, имеющая задачей использование мусора в целях получения энергии. Установка эта сама по себе состоит из трех частей, а именно отделения для подготовки мусора, печей для сжигания его и, наконец, силовой станции.

Доставляемый сюда грузовиками мусор выгружается в 2 больших бункера, а оттуда постукает в особые делители, где тонкие составные части, каковы земля, зола и т. п., отходят, и далее проходит над магнитным сепаратором для задержания частей железа. После того он попадает на медленно движущуюся ленту, где из него вручную отбираются кости, тряпки и тому подобные материалы, которые не желательно сжигать. Приготовленный для сжигания мусор затем поднимается в бункера, расположенные над печами, и падает из них в приемные воронки печей. Каждая из таких печей, которых ныне уже 3, имеет 2 решетки—верхнюю и нижнюю. Большая часть мусора сгорает на верхней решетке, а несгоревшие там части и зола падают на нижнюю. Зола удаляется автоматически.

Благодаря большой поверхности (40 м²) решетки и небольшой толщине слоя мусора воздух подается под очень малым давлением (менее чем 60 мм водяного столба). При каждой печи имеется паровой котел с поверхностью нагрева в 500 м². Получаемый в котлах пар служит для получения электрической энергии в трех группах генераторов—в 300, 2 100 и 4 200 kW.

Первая группа в 300 kW, обслуживающая собственные нужды станции, состоит из турбины, делающей 9 000 об/мин., и генератора на 1 500 об/мин. Две другие группы турбин и генераторов работают при 3 000 об/мин.

При испытаниях, которые были сделаны при приемке этого оборудования после установки его, получились следующие результаты:

Вес полученного мусора	187 t
Вес выделенных из него частей	44 .
Вес горючих частей	143 .
Теплотворная способность мусора	1 620 cal/kg
Содержание влаги в мусоре	37,5 %
Давление пара	16,5 kg/cm ²
Производительность 1 kg	187 kWh
Коэффициент полезного действия установки	33,9 %

Эти результаты были лучше тех, которые были обусловлены в заказе (51,9% при пользовании мусора с 20% влаги) и должны считаться особенно благоприятными.

Инж. И. И. Тихонов

ПОПРАВКИ

В статью акад. В. Ф. Миткевича „О физическом действии на расстоянии“, помещенной в № 1 журн. „Электричество“ 1934 г., вклялись следующие опечатки:

Н а п е ч а т а н о:		Д о л ж н о б ы т ь:	
Стр. 17, первый столбец, строка 21 и 22 сверху	Если это кому-либо удастся, могут только приветствовать.	Если это кому-либо удастся, могут только приветствовать.	
Стр. 16, второй столбец, строки 4 и 3 снизу	. . . сущность происходящих в природе процессов сущность происходящих в природе процессов . . .	
Стр. 19, первый столбец, строка 14 снизу	. . . борьбу против нарицательных привычек.	. . . борьбу против нерациональных привычек.	

В статье д-ра И. Гольдштейн „Новые пути в области построения трансформаторов тока“, помещенной в № 1 журн. „Электричество“ 1934 г.

Н А П Е Ч А Т А Н О:		Д О Л Ж Н О Б Ы Т ь:	
Стр. 22, первый столбец, строка 20 снизу	Мы будем иметь следующие уравнения ампервитков для среднего	Мы будем иметь следующие уравнения ампервитков для сердечника	

ЭНТИ—ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Технич. редактор Г. Г. Андреев

РЕДКОЛЛЕГИЯ: инж. Е. С. Аватков, проф. В. И. Вейц, инж. В. Н. Глазнов, инж. М. Н. Грановская, инж. Я. А. Климовицкий, акад. Г. И. Кржижановский, инж. И. С. Палицын, М. И. Рубинштейн, инж. Н. А. Сазонов, проф. М. А. Шателен, проф. Я. Н. Шальрейн.
ОТВ. РЕДАКТОР инж. Н. А. Сазонов.

Сдано в набор 20/II—34 г. Подписано в печать 22/III—34 г. Вуз. № 62X94. Печать в типографии № 65. Печатных знаков в листе 78 800

ОНТИ**Энергоиздат****ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА НА 1934 ГОД**

на ежемесячный научно-технический журнал Главэнерго

ТЕПЛО и СИЛА

ГОД ИЗДАНИЯ 10-й**ЗАДАЧИ ЖУРНАЛА:**

Борьба за создание советского энергооборудования, борьба за освоение энергоустановок и рациональную постановку их эксплуатации, помощь ИТР в деле повышения своей квалификации и помощь студентам вузов, основанная на увязке работ научно-исследовательских институтов, работы заводов-изготовителей и опыта эксплуатации станций и промстановок.

ПРОГРАММА ЖУРНАЛА:

Советское энергооборудование и пути его развития. Освоение оборудования и нормальные режимы его эксплуатации. Эксплуатация энергоустановок, ее организация и обмен эксплуатационным опытом. Оценка конструкций оборудования с точки зрения надежности, экономичности и удобств эксплуатации. Потребление энергии и тепла в промышленности и разрешение проблемы теплоэлектроснабжения промкомбинатов. Комбинированное производство тепла и энергии, теплоэлектроцентрали и тепловые сети. Топливо СССР и особенности его сжигания. Освоение местных топлив. Вопросы экономии топлива. Аварии, их предупреждение и ликвидация.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год—18 р., на 6 мес.—9 р., на 3 мес.—4 р. 50 к. Отдельный номер—1 р. 50 к.

Подписку на журнал и деньги направляйте по адресу: Москва, 19, Гоголевский бульвар, 27, Главной конторе периодических и подписных изданий ОНТИ „Техпериодика“.

ПОДПИСКА ПРИНИМАЕТСЯ отделениями, магазинами и уполномоченными ОНТИ, снабженными соответствующими удостоверениями, общественными сборщиками подписки на предприятиях, всеми отделениями и магазинами КОГИЗ'а, всеми почтовыми отделениями и письмоносцами.

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ 1934 года: с 1-го января 1934 г. Главной конторой Техпериодики ОНТИ организована специальная экспедиция для обеспечения аккуратной и своевременной рассылки журналов подписчикам. С жалобами на неаккуратное получение журнала 1934 г. обращайтесь непосредственно в адрес конторы. В 1934 году все журналы ОНТИ будут экспедироваться по ярлычной (адресной) системе.

ОНТИ**ЭНЕРГОИЗДАТ****ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА НА 1934 ГОД**

на ежемесячный научно-технический журнал

Электрические станции

ОРГАН ГЛАВЭНЕРГО

5-й ГОД ИЗДАНИЯ**12 НОМЕРОВ В ГОД**

ПРОГРАММА ЖУРНАЛА: Общие технико-экономические проблемы планирования. Освещение отдельных планов электрификации наиболее характерных районов Союза. Общий план электрификации. Технические проблемы электрификации. Критический анализ отдельных проектов крупного электростроительства. Стандартизация и типизация. Описание и критический разбор строительных и монтажных работ. Новые типы и конструкции оборудования. Описание аварий и методы их ликвидации. Организация эксплуатации. Подготовка кадров. Организация ремонтного хозяйства. Режим работы станций. Распределение нагрузки. Регулирование напряжений. Распределение энергии в крупных городах. Вопросы расхода на собственные нужды. Обеспечение надежности параллельной работы станций. Организация диспетчерской службы и опыт ее работы. Централизация управления и применение автоматических приборов. Статистика, информация, библиография, хроника.

ЖУРНАЛ РАССЧИТАН: на инженеров, квалифицированных техников, учащихся вузов, научно-исследовательские институты, проектирующие организации.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год—18 р., на 6 мес.—9 р., на 3 мес.—4 р. 50 к. Отдельный номер 1 р. 50 к.

ПОДПИСКУ НА ЖУРНАЛ и ДЕНЬГИ НАПРАВЛЯЙТЕ ПО АДРЕСУ: Москва, 19, Гоголевский бульвар, 27, Главной конторе периодических и подписных изданий ОНТИ „Техпериодика“.

ПОДПИСКА ПРИНИМАЕТСЯ: отделениями, магазинами и уполномоченными ОНТИ, снабженными соответствующими удостоверениями, общественными сборщиками подписки на предприятиях, всеми отделениями и магазинами КОГИЗ'а, всеми почтовыми отделениями и письмоносцами.

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ 1934 г.: с 1 января 1934 г. Главной конторой Техпериодики ОНТИ организована специальная экспедиция для обеспечения аккуратной и своевременной рассылки журналов подписчикам. С жалобами на неаккуратное получение журнала 1934 года обращайтесь непосредственно в адрес конторы. В 1934 году все журналы ОНТИ будут экспедироваться по ярлычной (адресной) системе.

ОНТИ ЭНЕРГОИЗДАТ

ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ
на **1934** год

ИЗВЕСТИЯ ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ СЛАБОГО ТОКА

Орган Всесоюзного объединения электро-слаботочной промышленности (ВЭСО).

Рассчитан на инженеров, техников, студентов и высококвалифицированных рабочих.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—12 р., на 6 мес.—6 р. Отдельный номер—1 р. 20 к.

10 номеров в год

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Орган Главэнергопрома, ВЭНИТО и Энергетического института академии наук СССР

Рассчитан на квалифицированных работников электропромышленности и электрохозяйства.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—25 р., на 6 мес.—12 р. 50 к., на 3 мес.—6 р. 25 к. Отдельный номер—1 р. 25 к.

20 номеров в год

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ОРГАН
ГЛАВЭНЕРГО

Рассчитан на инженеров-энергетиков и учащихся вузов.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—18 р., на 6 мес.—9 р., на 3 мес.—4 р. 50 к. Отдельный номер—1 р. 50 к.

12 номеров в год

ИЗВЕСТИЯ ВСЕСОЮЗНОГО ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

имени
Ф. Дзержинского

Орган ВТИ имени Ф. Дзержинского.

Рассчитан на инженеров, техников, студентов вузов.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—20 р., на 6 мес.—10 р. Отдельный номер—2 р.

10 номеров в год

ДИЗЕЛЕСТРОЕНИЕ

Орган Всесоюзного дизельного объединения, научно-исследовательского института дизелестроения и научно-технических обществ дизелестроителей.

Рассчитан на ИТС заводов, сотрудников институтов, преподавателей вузов и техникумов и инженерно-технический персонал дизельных установок и судов.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—10 р. 80 к., на 6 мес.—6 р. 40 к. Отдельный номер—1 р. 80 к.

6 номеров в год

ТЕПЛО и СИЛА

ОРГАН
ГЛАВЭНЕРГО

Рассчитан на инженеров-энергетиков, инженерно-технических работников электростанций и студентов вузов.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—18 р., на 6 мес.—9 р., на 3 мес.—4 р. 50 к. Отдельный номер—1 р. 50 к.

12 номеров в год

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Орган Гидроэлектропроекта, Сектора водных ресурсов Госплана СССР, Гидронта, Института гидротехники и гидроэнергетики, исследовательского института строительной гидротехники и инженерной гидрологии, Союзводстроя и Средвогостроя

Рассчитан на инженерно-технических работников, занятых производством и эксплуатацией гидротехнических сооружений.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—15 р., на 6 мес.—7 р. 50 к. Отдельный номер—1 р. 50 к.

10 номеров в год

ВЕСТНИК КОЧЕГАРА

Ежемесячный массовый журнал Государственного центрального бюро по обучению рабочих теплосилового хозяйства.

Рассчитан на кочегаров стационарных и судовых котельных установок, на машинистов, на низший и средний административно-технический персонал.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—3 р. 60 к., на 6 мес.—1 р. 80 к., на 3 мес.—90 к. Отдельный номер—30 к.

12 номеров в год

ВЕСТНИК ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ ОРГАН ГЛАВЭНЕРГОПРОМА

Рассчитан на инженерно-технический персонал заводов ВЭТ и инженеров электротехников.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—18 р., на 6 мес.—9 р., на 3 мес.—4 р. 50 к. Отдельный номер—1 р. 50 к.

12 номеров в год

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОЗРЕНИЕ Выпуск ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

РЕФЕРАТНЫЙ ОРГАН ГЛАВЭНЕРГО

Рассчитан на инженеров и техников.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—12 р., на 6 мес.—6 р. Отдельный номер—1 р. 20 к.

10 номеров в год

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ и ЭЛЕКТРОМОНТЕР

Орган Глав-энергопрома

Рассчитан на квалифицированного электромонтера, младший и средний персонал и прорабов.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—8 р. 40 к., на 6 мес.—4 р. 20 к., на 3 мес.—2 р. 10 к. Отдельный номер—70 к.

12 номеров в год

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОЗРЕНИЕ Выпуск ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ

РЕФЕРАТНЫЙ ЖУРНАЛ ГЛАВЭНЕРГО.

Рассчитан на инженеров-теплотехников.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—12 р., на 6 мес.—6 р. Отдельный номер—1 р. 20 к.

10 номеров в год

ВЕСТНИК КОТЛОТУРБИНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Орган Всесоюзного научно-исследовательского института теплотехнического оборудования, Центрального котельного конструкторского бюро МТУ и заводов Главэнергопрома.

Рассчитан на инженерно-технический персонал заводов и научно-исследовательских институтов котлотурбостроения.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—12 р., на 6 мес.—6 р. Отдельный номер—2 р.

6 номеров в год

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТЯГА

Орган Главэнергопрома и постоянного бюро съездов по электрификации жел. дорог.

Рассчитан на квалифицированного рабочего, техника, студента, мастера и инженера, работающих по электрической тяге.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—12 р., на 6 мес.—6 р. Отдельный номер—2 р.

6 номеров в год

СВЕТОТЕХНИКА

Орган Главэнергопрома и Светотехнической секции ЭНИА

Рассчитан на инженеров, техников, студентов квалифицированных рабочих и мастеров.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—8 р., на 6 мес.—3 р. Отдельный номер—1 р.

6 номеров в год

МАШИНИСТ

Ежемесячный массовый журнал государственного центрального бюро по обучению рабочих теплосилового хозяйства.

Рассчитан на машинистов стационарных и подвижных теплосиловых установок.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год—4 р. 20 к., на 6 мес.—2 р. 10 к., на 3 мес.—1 р. 05 к. Отдельный номер—35 к.

12 номеров в год

Подписку на журналы и деньги направляйте по адресу:

Москва, 19, Гоголевский бульвар, д. 27, Главной конторе периодических и подписных изданий ОНТИ „ТЕХПЕРИОДИКА“.

Подписка принимается отделениями, магазинами и уполномоченными ОНТИ, снабженными соответствующими удостоверениями, общественными сборщиками подписки на предприятиях, всеми отделениями и магазинами КОГИЗ'а, всеми почтовыми отделениями и письмоносками.

Вниманию подписчиков 1934 г.: С 1-го января 1934 г. Главной конторой „Техпериодика“ ОНТИ организована специальная экспедиция для обеспечения аккуратной и своевременной рассылки журналов подписчикам.

С жалобами на неаккуратное получение журнала 1934 г. обращайтесь непосредственно в адрес конторы.

В 1934 г. все журналы ОНТИ будут экспедироваться по ярлычной (адресной) системе.

ПОДПИСКА МЕНЬШЕ ЧЕМ НА 3 МЕС. НЕ ПРИНИМАЕТСЯ.